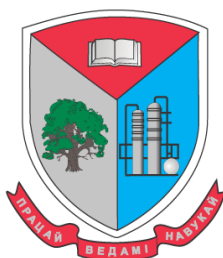


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»



ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА

**Материалы докладов
86-й научно-технической
конференции профессорско-преподавательского
состава, научных сотрудников и аспирантов**

31 января – 12 февраля 2022 года

Минск 2022

УДК 66:005.745(06)

ББК 35я43

X 46

Химическая технология и техника : материалы 86-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 января – 12 февраля 2022 г. [Электронный ресурс] / БГТУ. – отв. за издание И. В. Войтов; УО «БГТУ». – Минск : 2022. – 373 с. ISBN 978-985-530-987-2.

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:

Климош Ю.А., декан факультета ХТиТ, канд. техн. наук;
Левицкий И.А., проф. кафедры ТСиК, д-р техн. наук;
Вайтехович П.Е., проф. кафедры МиАХиСП, д-р техн. наук;
Черник А.А., зав. кафедрой ХТЭХПиМЭТ, канд. хим. наук;
Шибека Л.А, доц. кафедры ПЭ, канд. хим. наук;
Карпович Д.С., зав. кафедрой АППиЭ, канд. техн. наук;
Гвоздева Н.А., доц. кафедры Х, ТЭХПиМЭТ, канд. техн. наук

Главный редактор Войтов И.В., ректор, д-р техн. наук, профессор

ISBN 978-985-530-987-2

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Терещенко И.М., Войтов И.В., Шетько С.В.</i> Отсевы дробления гранитоидных пород Микашевичского месторождения как сырье для производства минерального волокна.....	10
<i>Терещенко И.М., Климош Ю.А., Павлюкевич Ю.Г., Кравчук А.П.</i> Стекло в истории человечества (исторический обзор).....	14
<i>Лихачева А.В., Козловская И.Ю.</i> Национальный детский технопарк – школа ярких возможностей для молодежи.....	24
<i>Кузьменков М.И., Сакович А.А., Кузьменков Д.М., Олесик Д.С.</i> Отечественное высокопрочное гипсовое вяжущее.....	26
<i>Шелковкина Н.С., Гребенщикова Е.А., Горбачева Н.А.</i> Проблемы восстановления техногенных ландшафтов в золотодобывающей отрасли.....	28
<i>Лисачук Г.В., Белогубкина К.В., Кривобок Р.В., Федоренко О.Ю., Захаров А.В.</i> Особенности получения радиопрозрачной керамики на основе композиций системы BaO-ZnO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂	31
<i>Борисенко О.Н., Шабанова Г.Н., Логвинков С.М., Остапенко И.А.</i> Периклазошпинельные огнеупоры на основе системы MgO – Al ₂ O ₃ – FeO – TiO ₂ для вращающихся печей.....	34
<i>Ещенко Л.С., Понятовский О.В.</i> Исследование процесса кристаллизации ортофосфата алюминия из его пересыщенных водных растворов.....	36
<i>Брагина Л.Л., Ящук С.Н.</i> Низкоэмиссионные флоат-стекла с упрочненными магнетронными покрытиями.....	39
<i>Дормешкин О.Б., Гаврилюк А.Н., Мохорт М.С., Бышик А.А.</i> Исследование изменения солевого состава комплексных удобрений на этапе франко-поля...	42
<i>Дяденко М.В., Лугин В.Г., Сидоревич А.Г.</i> Структурная роль железа в щелочных алюмо- и боросиликатных стеклах.....	46
<i>Дятлова Е.М., Попов Р.Ю., Гундилович Н.Н., Бука А.В., Мариненко А.Н.</i> Особенности процесса фазообразования при синтезе керамических материалов на основе модифицированного манганита лантана и иттрия.....	49
<i>Левицкий И.А., Пунько И.О.</i> Полуфриттованные титансодержащие глазури для керамогранита	52
<i>Левицкий И.А., Жукова И.И., Комар М.В.</i> Влияние объемного замораживания на свойства и структуру клинкерного кирпича.....	55
<i>Ещенко Л.С., Блинов В.С.</i> Исследование процесса окисления соединений Fe(II), образующихся в системе FeSO ₄ -H ₂ SO ₄ -CaCO ₃ -H ₂ O-модифицирующая добавка.....	58
<i>Баранцева С.Е., Климош Ю.А., Гундилович Н.Н., Попов Р.Ю., Азаренко И.М., Курилович М.А.</i> Использование глауконитсодержащих осадочных пород Новодворского месторождения для получения керамических материалов различного назначения.....	62
<i>Дормешкин О.Б., Гаврилюк А.Н., Русак И.А.</i> Исследование особенностей распределения фтора при получении ортофосфорной кислоты из различных видов и месторождений фосфатного сырья	65
<i>Сергиенко Е.С., Янсон С.Ю., Левицкий И.А., Папко Л.Ф.</i> Получение искусственных аналогов импактных стекол.....	69

<i>Левицкий И.А., Саплев А.В.</i> Применение местного сырья Беларуси в производстве плиток для внутренней облицовки стен.....	72
<i>Лукаш Е.В., Шалухо Н.М., Качурина В.С.</i> Получение метасиликата натрия с повышенными эксплуатационными свойствами.....	75
<i>Шиманская А.Н., Попов Р.Ю., Подсосонная А.Д., Борозна И.А., Жерноклева А.В.</i> Применение аддитивных технологий для получения кальций-фосфатной керамики.....	77
<i>Дяденко М.В., Левицкий И.А., Кичкайло О.В., Костик Е.А.</i> Особенности стеклообразования в системе $K_2O-V_2O_5-SiO_2$	80
<i>Трусова Е.Е., Павлюкевич Ю.Г., Папко Л.Ф., Гречуха С.П.</i> Рамановская спектроскопия как метод исследования кристаллических включений в стекле.....	83
<i>Trusova E.E.</i> Teaching an academic discipline «Physical chemistry of refractory non-metallic and silicate materials» in English using the electronic methodological complex in the Moodle system.....	86
<i>Аллаёров Н.Б., Дормешкин О.Б.</i> Анализ состояния водопользования Навоийского горно-металлургического комбината и пути его оптимизации...	90
<i>Холикулов Д.Б., Нурмухамматова М.К., Минаковский А.Ф.</i> Исследование возможности извлечения металлов из технологических растворов сернокислотного цеха медного производства.....	92
<i>Габалов Е.В., Беляцкий И.А., Чекуть К.С.</i> Определение возможности гранулирования комплексных сложно-смешанных удобрений на валковых прессах методом статического прессования	96
<i>Эшметова Д.З., Эркаев А.У., Бобокулов А.Н., Тоиров З.К., Туракулов Б.Б., Дормешкин О.Б.</i> Изучение некоторых физико-химических свойств системы $Et_2NH-H_2SO_4-H_2O$	99
<i>Мавлянов М.Б., Адилова М.Ш., Эркаев А.У.</i> Переработка низкосортных сильвинитов Тюбегатанского месторождения.....	102
<i>Пирназаров Ф.Г., Умиров Ф.Э., Болтаев Ш.А.</i> Получение хлоридов кальция и магния из Учтутского сапонита.....	104
<i>Туракулов Б.Б., Эркаев А.У., Чавлиева Ф.Б., Бобокулов А.Н., Кучаров Б.Х., Ещенко Л.С.</i> Теоретические основы и технология получения гидроксида калия на основе анализа диаграммы растворимости системы $C_2H_5OH-KOH-H_2O$	107
<i>Мажидов Х.Б., Нурмуродов Т.И., Хуррамов Н.И.</i> Изучение реологических свойств упаренной экстракционной фосфорной кислоты, полученной из необоженного мытого высушенного концентрата.....	110
<i>Туракулов Б.Б., Эркаев А.У.</i> Влияние промывного раствора на процесс фильтрации при получении гидроксида калия известковым способом.....	112
<i>Бобокулов А.Н., Эркаев А.У.</i> Теоретический анализ процесса упарки маточных растворов производстве бикарбоната калия аминными способами.....	115
<i>Samadov A.U., Shonazarova Sh.I.</i> Determination of the degree of regeneration of fluoride ammonium.....	118
<i>Азимов Д.С.</i> Влияние акрилового гидрогеля на термоустойчивость конструкционных материалов.....	121
<i>Францкевич В.С., Юсевич А.И., Павлечко В.Н., Козловский В.И.</i> Расчет и подбор технологического оборудования реакторного блока пилотной проточной установки гидроконверсии смесового нефтяного, древесного и буроугольного сырья	123

<i>Францкевич В.С., Павлечко В.Н., Шалухо Ю.И.</i> Анализ возможности замены озоноразрушающего хладагента в холодильных машинах охлаждения воздуха высокого давления.....	127
<i>Калишук Д.Г., Саевич Н.П.</i> Экспериментальные исследования гидравлического сопротивления орошаемых тарелок со стационарными клапанами.....	130
<i>Кобринец В.П., Коровкина Н.П., Пустовалова Н.Н.</i> Некоторые методы энергосбережения на промышленных предприятиях.....	133
<i>Вайтехович П.Е., Мытько Д.Ю.</i> Анализ способов очистки биогаза от сероводорода.....	134
<i>Володин В.И.</i> Регенератор газотурбинной установки закрытого цикла.....	136
<i>Володин В.И., Здитовецкая С.В.</i> Приближенные методики расчета конденсаторов перегретого пара тепловых насосов.....	139
<i>Мытько Д.Ю., Вайтехович П.Е.</i> Компьютерное моделирование движения жидкой пленки в канале треугольного сечения.....	142
<i>Данильчик Е.С., Сухоцкий А.Б., Фарафонов В.Н.</i> Обобщение полученных результатов по свободно-конвективному теплообмену воздухоохлаждаемых однорядных пучков биметаллических оребренных труб с круглыми алюминиевыми ребрами.....	145
<i>Ланкин Р.И., Францкевич В.С.</i> Гидравлическое сопротивление абсорбционной колонны с подвижной насадкой.....	148
<i>Левданский И.А., Ковалева А.А., Нестерова С.В., Левданский А.Э.</i> Разработка экспериментальной установки для исследования процесса удаления поверхностной влаги скоростным газовым потоком в аппаратах с перфорированными дугообразными элементами.....	152
<i>Ковалева А.А., Кулевец П.С., Левданский А.Э., Опимах Е.В.</i> Экспериментальные исследования краевого угла смачивания полимерных материалов.....	156
<i>Рузикобилов Б.Х.</i> Определение технологических и конструктивных параметров охладителя гранулированного материала.....	159
<i>Осипенко М.А., Касач А.А., Богдан Е.О., Курило И.И.</i> Изучение влияния параметров процесса МДО на коррозионную стойкость магниевых сплавов AZ91 в физиологических растворах.....	161
<i>Афанасенко Я.А., Осипенко М.А., Курило И.И., Дудчик Г.П.</i> Исследование процессов антикоррозионной защиты углеродистой стали марки Сталь 3 с использованием ингибиторов – ортофосфата натрия и триэтаноламина.....	164
<i>Касач А.А., Богдан Е.О., Кононович В.М., Курило И.И.</i> Синтез и свойства композиционных конверсионных покрытий хитозан- $g-C_3N_4$ на сплаве магния AZ91.....	168
<i>Чиждова Е.А., Шевченко С.В., Журавлева Я.Ю., Клындюк А.И.</i> Структура и электротранспортные свойства твердых растворов $Nd(Ba,Mg)(Fe,Co,Cu)_2O_{5+\delta}$	171
<i>Красуцкая Н.С., Клындюк А.И.</i> Термоэлектрические свойства слоистых кобальтитов натрия.....	174
<i>Поляченко О.Г., Дудчик Г.П.</i> Результаты экспериментального определения энтальпии различных процессов с участием парообразных трихлоридов редкоземельных элементов как иллюстрация зависимости термодинамических свойств этих соединений от строения атомов РЗЭ.....	176

<i>Glinskaya A.A., Petrov G.S., Romanovski V.I.</i> Crystal structure, magnetic and photocatalytic properties of solid solutions $\text{Bi}_{2-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$ ($x=0, 0,05; 0,1$).....	180
<i>Южно Е.К.</i> Низкотемпературные фотолюминесцентные и магнитные свойства твердых растворов на основе индата лантана, легированного ионами редкоземельных элементов.....	183
<i>Ковганко В.Н., Дорожук Д.С.</i> Особенности ИК и ЯМР спектров фторсодержащих 1,3-диарилпроп-2-ен-1-онов.....	186
<i>Сидоренко А.Ю., Курбан Ю.М., Агабеков В.Е.</i> Получение алюмосиликатных нанотрубок из каолина.....	189
<i>Богомазова Н.В., Жарский И.М.</i> Использование комбинированных методик для формирования полупроводниковых гетероструктур.....	191
<i>Пянко А.В., Алисиенок О.А., Кубрак П.Б., Черник А.А.</i> Композиционные электрохимические покрытия Sn-Ni-композит « $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ ».....	194
<i>Сидоров И., Жилинский В.В., Новиков В.П.</i> Синтез и электрохимические свойства катодных материалов на основе $\text{NaCoFe}(\text{CN})_6$ для натрий-ионных аккумуляторов.....	197
<i>Кузнецов Я.Г., Зиневич Д.В., Жилинский В.В., Кузей А.М.</i> Осаждение и исследование покрытий сплавом цинк-никель.....	199
<i>Печенова Г.Г., Черник А.А., Каврус И. В.</i> Электрохимическое извлечение цинка из щелочного электролита выщелачивания активной массы отработанных марганцево-цинковых химических источников тока.....	203
<i>Малашонок И.Е., Радченко С.Л.</i> Олимпиада как инструмент повышения качества химического образования	205
<i>Кубрак П.Б., Черник А.А., Веко Д.А.</i> Анодное оксидирование сплава алюминия АД-31 в импульсном режиме электролиза.....	208
<i>Карзан С.Н., Жилинский В.В.</i> Синтез и электрохимическая очистка углеродных наноматериалов.....	210
<i>Ашуйко В.А., Урбанович Н.И., Новикова Л.Н., Барановский К.Э., Матыс В.Г.</i> Анализ антикоррозионных свойств цинксодержащих лакокрасочных покрытий.....	211
<i>Сахненко Н.Д., Каракуркчи А.В., Степанова И.И., Маркова Н.Б., Индыков С.Н.</i> Влияние условий электролиза на фотокаталитическую активность многокомпонентных систем КЭП.....	215
<i>Поспелов А.П., Белан В.И., Сахненко Н.Д., Герус А.О., Камарчук Г.В.</i> Индекс устойчивости автоколебательных процессов в электрохимических наноструктурных системах.....	218
<i>Черник И.А., Курило И.И., Черник А.А.</i> Электрохимическое получение покрытий на основе сплава никель-железо.....	221
<i>Залыгина О.С., Бутор Ю.Д.</i> Возможные направления переработки скопа.....	223
<i>Залыгина О.С., Предченко М.А.</i> Направления переработки земли формовочной горелой	226
<i>Залыгина О.С., Чепрасова В.И., Беляева О.Д.</i> Исследование свойств пигментов, полученных из отработанных электролитов хромирования.....	229
<i>Шибeka Л.А.</i> Использование отходов производства для очистки сточных вод от взвешенных веществ.....	232
<i>Шибeka Л.А., Сиделева В.А.</i> Особенности изучения фитотоксических свойств отходов производства.....	235

<i>Шибeka Л.А. Тукальская И.Н.</i> Исследование дисперсного состава отходов производства солода.....	238
<i>Козловская И.Ю., Будяну И.С.</i> Хионоиндикация как метод определения качества атмосферного воздуха.....	241
<i>Сапон Е.Г., Павлова Е.С.</i> Использование программного продукта openLCA при проведении оценки жизненного цикла	243
<i>Журавская Н.Е., Сафарян С.</i> Управление экобезопасностью инженерии промышленных систем.....	245
<i>Гламаздин Д.П., Гламаздин П.М., Журавская Н.Е.</i> Модернизация существующего парка водогрейных котлов отопительных котельных систем централизованного теплоснабжения для повышения экологических характеристик.....	247
<i>Журавская Н.Е., Стефанович П.И., Романенко О.Н.</i> Применение направлений по оценки рисков экотехнологической безопасности на промышленных объектах.....	251
<i>Белова А.И., Кочедикова А.Е., Король О.В.</i> Влияние инновационности на потенциал промышленного предприятия.....	255
<i>Гламаздин П.М., Дяченко А.А.</i> Снижение уровня вредных выбросов в атмосферу от котлов на органическом топливе путем модифицирования дутьевого воздуха.....	259
<i>Лихачева А.В., Дашкевич А.Н.</i> Способы интенсификации биокomпостирования органических отходов	263
<i>Азимов Д.С., Бобоев Х.Б.</i> Рекомендации по раздельному сбору, сортировки и переработки ценных компонентов твёрдых бытовых отходов (на примере ТБО г. Душанбе).....	265
<i>Вахобов Ж.В., Умиров Ф.Э.</i> Исследование возможностей повторного использования воды гидрометаллургических производств.....	270
<i>Люев А.С.</i> Воздействие продуктов сгорания топлива автотранспортных средств на человека и окружающую природную среду	271
<i>Сулейко Т.Л., Семёнова Е. И.</i> Природоохранная биотехнология: решение проблемы утилизации углеводородсодержащих сточных вод.....	274
<i>Флюрик Е. А., Манулик К.Д., Григорьева Л.Г.</i> Использование растительных препаратов для борьбы с клещем <i>Varroa destructor</i>	277
<i>Артёмов А.В., Ершова А.С., Савиновских А.В., Бурындин В.Г.</i> Оценка биоразлагаемости пластиков без связующих на основе биомассы борщевика Сосновского.....	280
<i>Ивашура А.А., Борисенко О.Н., Логвинков С.М.</i> Формирование индикаторов устойчивости производства и потребления.....	284
<i>Юрьев Ю.Л., Вавилова М.А.</i> Микроводоросли <i>Chlorella vulgaris</i> в процессе биологической очистки.....	287
<i>Шарипов С.Ш., Мухиддинов Б.Ф.</i> Исследование разных видов реагентов при нейтрализации кислых стоков биоокисления.....	290
<i>Клишевич Н.Г., Алещенкова З.М.</i> Микроорганизмы-деструкторы нефти для биоремедиации почвы.....	293
<i>Бакаленко В.И., Барашико О.Г., Дейнека Т.А.</i> Экспериментальные исследования динамических характеристик термометров.....	297
<i>Бакаленко В.И., Дейнека Т.А.</i> Программная корректировка постоянной времени термометров.....	299

<i>Оробей И.О., Сарока В.В., Карпович Д.С.</i> Датчик контроля концентрации NH ₃	301
<i>Жарский С. Е. , Сарока В. В. , Алексеев В.Л.</i> Подключение устройств, использующих протокол DCON к панелям оператора WEINTEK в учебном в процессе.....	303
<i>Оробей И.О. , Сарока В. В. , Карпович Д. С.</i> Синтез системы стабилизации магнитного поля.....	305
<i>Оробей И.О. , Сарока В.В. , Карпович Д.С. , Анкуда М.А. , Олиферович Н.М.</i> Расчет магнитной системы импульсного ЯМР спектрометра.....	307
<i>Сарока В.В. , Карпович Д.С.</i> Синтез автооператора для процессов термической обработки рессор.....	310
<i>Подобед М.Ю., Сидорчик Д.Е., Стоцкий В.А.</i> Ассистент ночной езды “Поводырь”.....	313
<i>Подобед М.Ю., Сидорчик Д.Е., Стоцкий В.А.</i> Конструктивные особенности современных автоматических выключателей с разной ПКС.....	314
<i>Подобед М. Ю., Сидорчик Д. Е., Стоцкий В. А.</i> Способы реализации каскадного управления насосами на базе частотного преобразователя.....	317
<i>Подобед М. Ю., Сидорчик Д. Е., Стоцкий В. А.</i> Способы реализации теплового расцепителя в конструкции автоматического выключателя.....	319
<i>Кобринец В. П., Коровкина Н. П., Пустовалова Н. Н.</i> Оценка эффективности применения векторно-индукторных приводов (ВИП) в технологическом оборудовании.....	321
<i>Оробей И.О., Гринюк Д.А., Анкуда М.А., Олиферович Н.М., Сухорукова И.Г.</i> Адаптивная цифровая фильтрация для обработки сигналов от полупроводниковых пленочных газовых сенсоров.....	322
<i>Оробей И.О. , Сарока В.В. , Анкуда М.А.</i> Юстировка магнитного поля первичного измерительного преобразователя для регистрации ЯМР-сигналов.....	325
<i>Овсянников А.В. , Барашко О.Г.</i> Гистограммный фильтр с настройкой параметра сглаживания.....	327
<i>Барашко О.Г., Бакаленко В.И.</i> Жизненный цикл проекта внедрения ERP-системы.....	329
<i>Барашко О.Г., Овсянников А.В.</i> Анализ и настройка прототипа ERP-системы.....	331
<i>Александров О.И., Демьянкова В.С., Карасев А.И.</i> Перспективно-статистический анализ энергорынка.....	334
<i>Лялько А.А.</i> Структурно оптимизируемые дискретные регуляторы.....	337
<i>Лялько А.А.</i> Сравнительный анализ систем автоматического регулирования с параметрически оптимизируемыми и структурно оптимизируемыми регуляторами.....	340
<i>Королев А.А.</i> Сравнительный анализ топологий управляющих сетей с точки зрения надежности.....	343
<i>Карпович Д.С., Тихомиров С.Г., Карманова О.В., Маслов А.А., Линцова Е.В.</i> Алгоритмизация расчета температурно-временного режима процесса вулканизации.....	345
<i>Гринюк Д.А., Сухорукова И.Г., Силаков С.А., Сафронов М.А.</i> Выбор технических устройств для построения систем управления.....	348

<i>Гринюк Д.А., Олиферович Н.М., Жук Д.В., Михновец А.С.</i> Сравнение вариантов настройки регулятора по полной и упрощенной модели.....	351
<i>Гринюк Д.А., Олиферович Н.М., Бакаленко В.И., Бойко Ф.Л.</i> Построение динамической модели гидравлического тракта.....	354
<i>Гринюк Д.А., Сухорукова И.Г., Шетько И.С., Крюков А.Н.</i> Анализ динамики воздушного теплообменника.....	357
<i>Гринюк Д.А., Олиферович Н.М., Карпович М.Д., Карпюк П.О.</i> Оптимизация времени квантования каскадной системы с компенсатором.....	360
<i>Гринюк Д.А., Сухорукова И.Г., Бирюков С.Н., Скрипко Д.И.</i> Влияние нелинейных свойств исполнительного механизма на идентификацию объектов управления.....	363
<i>Мороз Р.Р.</i> Особенности электроснабжения предприятий строительной индустрии и строящихся объектов.....	366
<i>Стрелкова Е.В.</i> Результаты исследований по температурному режиму при возделывания огурца в зимне-весеннем обороте УП «Минский парниково-тепличный комбинат».....	369

И.М. Терещенко, доц., канд. техн. наук;
И.В. Войтов, ректор, проф., д-р техн. наук;
С.В. Шетько, проректор, канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ОТСЕВЫ ДРОБЛЕНИЯ ГРАНИТОИДНЫХ ПОРОД МИКАШЕВИЧСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОГО ВОЛОКНА

В Республике Беларусь функционирует крупнейшее в Европе предприятие по переработке плотных горных пород-гранитоидов Микашевичского месторождения с объемом выпуска более 15 млн. тонн нерудных строительных материалов в год: щебня различных фракций, щебеночно-песчаных смесей и др.

Сооружение высотных зданий, скоростных магистралей, железных дорог предъявляет к строительному щебню жесткие требования, важнейшим из которых является его кубовидная форма, что обеспечивает прочность и долговечность бетонных конструкций при низком расходе вяжущего-портландцемента. Требуемая форма кусков породы достигается в ходе многократной механической дезинтеграции исходной породы (четыре и более стадий дробления), помимо взрывных работ. Это обуславливает образование огромного количества отходов, что является отличительной чертой предприятий-переработчиков плотных горных пород: на каждую тонну товарного щебня приходится 0,6–0,7 т отходов, в том числе, так называемых, отсевов дробления породы. Сегодня выход отходов на РУПП «Гранит» превышает 50% от объема товарного продукта.

Конечно, предпринимаются попытки вовлечения отсевов в другие отрасли промышленности. Например, в производство бетонов, сухих строительных смесей, керамических материалов и др. Однако, в целом, объемы использования отсевов в РБ невелики. Такая же ситуация с отсевами в РФ, где используются менее 20% образующихся отсевов, в основном для отсыпки карьерных и региональных дорог.

Основные причины сложившейся ситуации:

– отсевы дробления изверженных пород являются продуктом сугубо местного значения, поскольку стоимость их мала (приравнивается к стоимости строительного песка), а транспортные тарифы значительно выше. В связи с этим в РБ ежегодно в отвалы отправляется свыше 3,75 млн т отсевов;

– отсевы дробления содержат до 30% высокодисперсных фракций, которые препятствуют эффективному использованию их крупных фракций (> 2,0 мм).

Отдельно следует отметить огромный вред, наносимый окру-

жающей среде пылевидными фракциями отсевов, которые являются мощным источником загрязнения воздушного бассейна в регионе.

Выходом из сложившейся ситуации является поиск новых областей применения отсевов дробления гранитоидных и им подобных пород, позволяющих получать на их основе продукцию с высокой прибавочной стоимостью. В этом случае экономическая целесообразность обеспечит преодоление отмеченных проблем.

В БГТУ в ходе пофракционного изучения отсевов дробления гранитоидных пород Микашевичского месторождения выявлена их важная особенность, а именно зависимость химико-минералогического состава породы от степени ее измельчения, то есть от размеров зерна. Зерна кварца (свободный кремнезем), входящего в состав породы в количестве 12–14%, измельчаясь хуже зерен других минералов (плагноклазы, калиевый полевой шпат, темноцветные минералы), остаются в крупных фракциях, в то время как мелкие фракции отсевов их не содержат вовсе. Собственно минералогический состав дисперсных фракций отсевов представлен полевошпатовыми структурами 70–80% и темноцветными минералами 15–20% с содержанием оксидов железа до 10%. Изменения минералогии отражаются на химическом составе дисперсных фракций отсевов, который в итоге приближается к составам горных пород (базальтов), пригодных для получения минерального волокна, что вытекает из таблицы.

Таблица

№	Порода	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	FeO+ Fe ₂ O ₃	TiO ₂	ппп
1	Гранитоиды РБ (исходная порода)	61,3–63,4	13,2–15,3	4,0–4,3	2,7–3,0	3,4–4,4	2,2–2,4	5,8–8,6	0,9	1,5–1,8
2	Базальтовые породы, используемые в производстве волокна	44,0–52,0	15,0–19,0	6,0–12,0	4,0–7,0	1,0–7,0	2,0–4,0	11,0–15,0	0,7–2,0	1,0–2,0
3	Отсевы дробления гранитоидов*	52,48±1,09	14,48±0,57	7,23±0,27	5,2±0,31	3,14±0,21	2,9±0,13	9,82±0,76	1,43±0,05	1,71±0,28

* – в соответствии со статистической обработкой результатов анализов 62 проб.

Таким образом, по данным химико-минералогического анализа отсевы дробления гранитоидных пород РБ могут представлять интерес для производства минерального волокна, как непрерывного, так и штапельного. Следует отметить, что стоимость на рынке непрерывного волокна – 1,6–2,4 \$ за кг, штапельного – 0,6–0,7 \$/кг.

Предпринятое сравнительное изучение свойств расплавов, полу-

ченных из отсевов дробления и Подгорнянского базальта (Украина), используемого ОАО «Полоцк-Стекловолокно» для получения непрерывного волокна, показало, что большинство показателей у них имеют близкие значения, однако по таким важным характеристикам как склонность к кристаллизации, температура гомогенизации расплава, значения краевого угла смачивания гранитоидные расплавы имеют преимущества. И в особенности, следует отметить стабильность химического состава отсевов, что достигается в ходе многостадийной обработки породы в ходе ее переработки в щебень.

Положительные результаты лабораторных исследований позволили перейти к полупромышленной, а затем и к промышленной апробации отсевов дробления гранитоидов в условиях ОАО «Полоцк-Стекловолокно» с целью получения непрерывного волокна. В ходе испытаний отрабатывались температурные режимы и параметры выработки тонкого непрерывного волокна по двухстадийной и одностадийной технологиям, получены образцы волокон и акты испытаний. Всего, с участием ОАО «НПО Центр» было подготовлено около 22 т отсевов дробления гранитоидов требуемой фракции, использованных для промышленных испытаний (4 апробации, из них одна неудачная из-за поломки системы электроподогрева на заводской печи).

Наиболее стабильный процесс волокнообразования и высокое качество волокна (средний диаметр элементарного волокна – 7,7 мкм, прочность на разрыв – 59 гс/текс), что превышает аналогичные показатели базальтовых волокон, получены при одностадийной технологии. Одностадийная технология получения волокна обеспечивает диаметр элементарных волокон в пределах 11,2–12,0 мкм.

Таким образом, лабораторными и промышленными испытаниями показана принципиальная возможность использования дисперсных фракций отсевов дробления гранитоидов РБ в производстве минерального волокна. Поскольку речь идет о многотоннажных технологиях большое значение имеют объемы сырья, пригодного для означенной цели. Самые осторожные оценки дают цифру около 200 тыс.т/год, в связи с чем Республика Беларусь имеет возможность создавать новые промышленные объекты по производству волокнистых материалов на основе отсевов дробления гранитоидов, кроме того страна может стать крупным экспортером кондиционного сырья для производства как непрерывного, так и штапельного волокна.

Таким образом, следует рассматривать два варианта использования дисперсных фракций отсевов дробления гранитоидов РБ:

– производство штапельного минерального волокна с последующим получением теплоизолирующих материалов: плит, матов, скорлуп и др.;

– производство непрерывного минерального волокна, ориентированного, прежде всего, на получение композиционных материалов и изделий.

На наш взгляд следует предпочесть первый вариант, а именно: производство изделий для теплоизоляции в силу следующих обстоятельств:

– высокая производительность оборудования; мощность цеха в 40–60 тыс. т/год легко обеспечивается современными технологиями производства штапельного волокна;

– относительно низкие затраты на производство, связанные с отсутствием необходимости использования платины и ее сплавов для бушингов (60% от общих затрат на производство непрерывных волокон);

– использование мощных электрических гарнисажных печей для получения расплава производительностью до 10 т/ч расплава;

– высокопроизводительное оборудование для формирования волокон (валковые центрифуги);

– наконец, по данным Агенства стратегического и экономического развития объем, ввозимых в Республику теплоизоляционных материалов, составил около 60000 т в 2020 г.

Технологии же и оборудование для получения непрерывного минерального волокна обеспечивают в лучшем случае объемы производства 2,5–3,0 тыс. т/год при существенно больших затратах на производство.

Кроме того, производство и, в особенности, использование волокна для получения композитных материалов на основе минеральных волокон как в РБ, так и в РФ находятся в зачаточном состоянии и требуют больших вложений.

Получение требуемых фракций отсевов может обеспечить ОАО «НПО Центр», развивающее инновационные технологии выделения дисперсных отходов дробления непосредственно в ходе измельчения исходной породы.

Следует также отметить, что для организации нового производства теплоизолирующей продукции на основе гранитоидов Брестской области не обязательно строить новые предприятия. Подходящим объектом для этой цели является ОАО «Брестский электроламповый завод», на котором сохранена вся инфраструктура, оставшаяся после закрытия цеха по производству стеклотрубки для ламп накаливания: имеются свободные площади для размещения нового оборудования, отделения подготовки шихты, оборудование для энерго- и газоснабжения, подачи воды, производства сжатого воздуха и др.

И.М. Терещенко, доц., канд. техн. наук;
Ю.А. Климош, декан факультета ХТиТ, канд. техн. наук;
Ю.Г. Павлюкевич, зав кафедрой ТСиК, канд. техн. наук;
А.П. Кравчук, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

СТЕКЛО В ИСТОРИИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА (ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

Стекла, издавна используемые человечеством, имели силикатную основу. В настоящее время показана возможность получения практически неограниченного числа составов стекол, не содержащих кремнезема, то есть SiO_2 не является необходимым элементом стекла, хотя 95% промышленных стекол – силикатные.

Более того, природа стекол не обязательно должна быть неорганической и неметаллической.

В настоящее время получено большое число органических стекол, получают нарастающее применение и металлические стекла, получаемые из расплавов при условии достижения высочайших скоростей охлаждения. Таким образом, определение стекла не может базироваться на химической природе материала.

Традиционно стекло получали из расплавов, путем их переохлаждения. Однако этот способ не является единственным. В настоящее время стекла, например, получают методом осаждения паров, путем реализации золь–гель процессов в растворах, в ходе облучения кристаллических веществ нейтронами. В итоге способ получения стекла также является вторичным признаком.

Признаками же, определяющими понятие стекла, могут служить две его характерные особенности:

- стекла относятся к одному из типов аморфных структур, не обладающих упорядоченным расположением атомов;
- любое стеклообразное вещество характеризуется отсутствием определенной температуры плавления.

При нагреве стекло постепенно размягчается, переходя в итоге в жидкое состояние. Таким образом, для стекла в зависимости от температуры возможны следующие состояния: хрупкое, пластичное и жидкое.

В итоге стекло может быть определено как аморфное тело, не обладающее упорядоченной структурой и имеющее температурный интервал плавления.

В окружающей нас обстановке стекло настолько привычно, что его присутствие воспринимается как нечто само собой разумеющееся.

Однако отношение к данному материалу не всегда было таким. В египетской цивилизации стекло рассматривалось как драгоценность, свидетелем чему являются стеклянные бусы, украшающие золотые погребальные маски египетских фараонов в их захоронениях.

В ранний период человеческой истории люди использовали вулканическое стекло – обсидан для изготовления орудий труда и оружия – скребков, ножей, топоров, наконечников стрел и копий.

Традиционно стекло получали путем плавления исходных компонентов. По последним данным возраст наиболее древних египетских стекол составляет не менее 5,5–6 тыс. лет.

Как впервые человеком было получено стекло?

По одной из версий сочетание соли NaCl , известняка CaCO_3 и кремнезема SiO_2 , находившихся в горячей золе костра на берегу моря, могло настолько снизить температуру плавления SiO_2 , что привело к получению остеклованной массы. Вероятно, на этот феномен было обращено внимание, а затем какой-либо гений древности сообразил, что стекло можно получать специально, и установил тип и соотношение его основных компонентов.

По другим данным возникновение стекла связано с развитием гончарного ремесла, в частности с освоением производства глазурованной водонепроницаемой керамики. Процесс получения стекловидных покрытий в ходе обжига изделий из глины, неизбежно должен был привести к идее использования стеклообразующих смесей в качестве материала, имеющего самостоятельное значение.

Существует и еще одна версия, согласно которой зарождение стеклоделия связано с развитием техники плавления металлов. Возможно, именно поэтому составы стекол древних египтян близки по виду и свойствам к шлаковым металлургическим расплавам. Именно Египет стал центром стекольного производства к середине второго тысячелетия до н. э. В этот период изделия оформлялись примитивным способом, поскольку во все времена техника стеклоделия была связана с техникой получения высоких температур. Из получаемой на кострах пластической массы формовались бусы, браслеты, сосуды примитивной формы раскатыванием и прессованием с помощью глинисто-песчаных стержней. Первобытные стекла применялись для изготовления бус, предметов религиозного культа и инструментов с режущим краем. Постепенно были введены в практику методы изготовления изделий заданной формы. Так бутылки получались наматыванием ленты стекла на шаблон из уплотненного песка, который после охлаждения изделий соскребался с внутренней поверхности и удалялся. Конечно, подобные изделия имели грубые полупрозрачные стенки,

зачастую искривленные.

Позднее Рим становится центром стеклоделия (I век до н. э.). В античную эпоху из стекла изготавливали различные сосуды, вазы, кувшины, бутылки, чаши, стаканы. Стекло уже плавилось в горнах, использовалось дутье с помощью мехов, что позволило увеличить температуру и получать жидкотекучую массу, из которой возможно было осуществить вытягивание стеклянных нитей, получать более совершенные изделия. Методы отливки и прессования, введенные в практику, позволили улучшить качество стеклянной посуды, получать прозрачное, хотя и плохо осветленное (запузыренное) стекло, характеризующееся также наличием ряда других пороков.

Изобретение около I века до н. э. стеклодувной трубки стало крупным шагом в истории стеклоделия, а с ней и способа выдувания изделий. В итоге резко расширились области использования стекла, а также улучшилось качество получаемых изделий. Стеклянная посуда стала намного доступнее, появилась возможность получать тонкое плоское стекло, что в итоге привело к практике остекления окон в жилищах.

Далее в повседневную жизнь вошли окрашенные стекла. Методы получения ряда цветовых оттенков стекол сохранялись как семейные секреты и передавались из поколения в поколение. Например, секрет получения «золотого рубина» был открыт, затем утерян и лишь через сотни лет был открыт повторно. Умение окрашивать стекло в различные тона в сочетании с выдувным методом формования позволило получать изящные высокохудожественные изделия: кубки, бокалы, посуду, великолепные цветные витражи больших соборов и др.



Чаша Ликурга (предположительно александрийской работы IV века н. э.)



Портлендская ваза (предположительно I век н. э.)

Изготовление изделий из стекла превратилось в искусство. Особых успехов добились венецианские мастера, куда переместился мировой центр стеклоделия в XIII–XVII веках. Венецианское стекло, окрашенное в различные цвета, отличалось изяществом формы, художественной ценностью, отделывалось золотом и филигранью, и составляло важную часть бюджета Венеции. Особую известность приобрели венецианские зеркала и посуда. В обиход вошли тигельные, горшковые (XVII в.) и ванные печи периодического действия (XVIII в.).



Венецианские изделия из синего стекла, которое окрашено кобальтом и украшенное сусальным золотом и эмалью (Италия, Мурано, около 1500 г.)



Ваза из бесцветного муранского стекла, конец 16 века



Блюдо из муранского стекла (около 1510 г.)

Способы ручного формования господствовали до начала XIX века, достигнув, впрочем, высокого художественного исполнения, техники и искусства декора.

Период технических революций (конец XVIII – начало XIX вв.) обусловил переход к массовому производству изделий из стекла и одновременно создал предпосылки для создания новых областей их использования.

Этот отрезок времени ознаменовался рядом изобретений, предопределивших последующий качественный скачок стеклоделия. К ним относятся:

- изобретение пирометра в 1789 г., что позволило контролировать температуру варки стекла;
- освоение массового производства плоского стекла методом цилиндров;
- начало производства зеркального стекла методом периодической прокатки;
- появление способа формования прессованием в формах на рычажном прессе;
- использование экономичного генераторного газа для отопления печей;
- изобретение газогенераторного отопления, появление первых газогенераторов.

Сименс в 1870 г. предложил конструкцию непрерывной ванной регенеративной печи с высокой производительностью, являющейся прототипом современных тепловых агрегатов для варки стекла. Таким образом, были заложены предпосылки для поточных технологических процессов с высоким уровнем механизации.

В итоге за весьма короткий период производство стеклоизделий было оснащено высокопроизводительным формующим оборудованием, в котором были реализованы идеи использования сжатого воздуха, получение изделий методом прессовыдувания, способом механического вытягивания плоского стекла и трубок.

Основными вехами на пути создания механизированных способов производства массовой продукции на основе стекла стали:

- освоение механизированного производства прессованных полых изделий (стаканы);
- разработка Ф. Арбогастом принципов механического выдувания изделий из стекла, изобретение первой машины для формования бутылок (ручной привод).

Особо следует выделить период 1910–1920 гг., в течение которого были изобретены:

- способы вакуумного непрерывного (1911 г.) и капельного фидерного (1913г.) питания формующих машин стекломассой;

- освоены способы вертикального и вертикально-горизонтального вытягивания листового стекла (метод Фурко и Либбей–Оуэнс);
- полностью механизированное производство бутылок с двухстойной формующей машиной Линча (1913г.);
- освоение технологии непрерывного вытягивания трубок (горизонтальное вытягивание, метод Даннера) – 1917 г.;
- в 1925 г. появились первые секционные формующие машины фирмы Гартфорд; затем наступила эра роторных стеклоформующих машин типа Руаран–7 и им подобных. В настоящее время стеклотарное производство полностью ориентируется на секционные линейные автоматы (выдувные и прессовыдувные), доказавшие в ходе эволюции свои преимущества перед другими типами формующих машин;
- освоены безлодочный способ вытягивания плоского стекла (метод Питсбурга, 1928 г.), способ вертикально-горизонтального вытягивания трубок (Велло) – 1929 г. и, наконец, метод вертикального вытягивания труб большого диаметра (Корнинг Гласс) – 1932 г.;
- разработана технология непрерывного проката листового стекла – 1930 г.

В последующий период расширяется роль стекла в технике (изоляторы, колбы электрических ламп накаливания, оптическое и сигнальное стекло, стеклянное волокно и др.), что в итоге привело к созданию соответствующих высокопроизводительных поточных производств.

Так в 1930 году появились карусельные машины Вест-Лейка для автоматического формования тонкостенных бесшовных изделий (колбы ламп накаливания, стаканы), которые явились прототипом для автоматов ВК-24 и ВС-24, до нынешнего времени используемые отечественной стекольной индустрией. Затем появились машины типа Оливотто, способные формовать широкий ассортимент тонкостенных полых изделий, а также конвейерные формующие машины Риббон (Корнинг Гласс), поражающие воображение своей производительностью (до 1,5 млн. колб в сутки).

Открытие химически устойчивых боросиликатных стекол оказало сильное влияние на развитие химии и во многом обусловило переход от изысканий алхимиков к современной науке.

История непрерывного производства стекловолокна и материалов на его основе началась в 1930 году реализацией центробежного способа Хагера, который был предназначен для получения непрядильных штапельных волокон. Далее были разработаны дутьевой способ (Оуэнс– Иллинойс, 1933 г.), при котором непрерывные струйки расплава, вытекающие из платинового фильерного сосуда, подвергаются воздействию высокоскоростного газового потока, и наконец TEL – способ (Сент–Гобен, 1951 г.), сочетающий действие центро-

бежных сил (центрифуга) на стеклообразующий расплав и раздув с помощью скоростных горелок, что позволяет получать весьма тонкое качественное волокно.

Для получения непрерывного стекловолокна наибольшее распространение получил метод фильерного вытягивания (Оуэнс-Корнинг, 1937 г.). Особое значение для систем связи получили непрерывные оптические волокна из кварцевого стекла, освоение производства которых привело к революционным преобразованиям в индустрии передачи информации, поскольку замена металлических кабелей на стекловолоконные во много раз увеличила объем и качество передаваемой информации по всему миру.

Наконец в 50-х годах прошлого столетия фирмой «Пилкинтон Бразерс», возглавляемой Аластером Пилкинтонем, предложена новая непрерывная технология получения полированного стекла на расплаве олова (флоат-процесс). В настоящее время технология «плавающей ленты» практически вытеснила традиционные способы производства листового стекла.



Аластер Пилкинтон

В ряде отраслей промышленности, например, в химической, на первом плане находится синтез новых веществ, в других (автомобильной, станкостроительной) – процессы обработки и формования изделий. В отличие от них производство изделий из стекла включает как синтез (варку) стекла и формование изделий, так и их обработку (термическую, механическую, химическую и т. д.).

Стекольная индустрия не относится к ведущим определяющим мощь государств, тем не менее, производство изделий из стекла на душу населения является важным показателем экономического благосостояния стран. В развитых странах производится 40–66 кг/человека стекла (Россия – 15 кг/человека). Стекло все чаще является составной частью готовых изделий и конструкций, растет его использование в самых разнообразных областях техники и быта. Это обусловлено ря-

дом замечательных свойств стекла, которыми не обладают другие типы материалов. Стекло однородно и химически устойчиво, негорюче, не подлежит гниению, обладает достаточной прочностью и твердостью.

Однако на первое место среди свойств стекла следует поставить его оптические характеристики, придающие изделиям красоту и привлекательность при высокой практичности. В основе их лежат особенности взаимодействия видимого света со стеклом.

В природе известно очень мало веществ, способных пропускать видимое излучение, и, видимо, именно поэтому человечество всегда привлекали, привлекают и будут привлекать яркие, блестящие предметы. Свидетельством тому многие драгоценные и полудрагоценные камни, ценящиеся и по нынешний день за цветовой оттенок либо его отсутствие, прозрачность, блеск. Металлы же и практически все природные органические материалы непрозрачны, многие жидкости обладают прозрачностью, но не устойчивы химически, и не могут длительное время сохранять свои свойства.

Таким образом, особенностью изделий из стекла в сравнении с другими материалами является их эстетическая привлекательность, благодаря чему стекло, наряду с техническим применением, широко используется в быту для изготовления различных видов посуды, емкостей для напитков, люстр, окон, зеркал, художественных изделий.

Приведем лишь некоторые примеры использования стекольной продукции:

- прозрачными листами стекла заполняют световые проемы зданий и сооружений, а также остекляют транспортные средства, в особенности часто здесь используется закаленное и многослойное стекло;

- стеклянная посуда и тара, электроосветительная арматура и электролампы, зеркала и очки – являются неотъемлемыми аксессуарами нашего быта;

- узорчатое и армированное стекло, стеклоблоки находят применение в строительной индустрии, архитектуре;

- легкое, пористое пеностекло используют как тепло- и звукоизоляционный материал;

- трубки, аппараты и реакторы из стекла широко используют в химической и пищевой промышленности;

- высокопрочные нити, тянутые из расплава стекла, используют для изготовления технических тканей: химически устойчивых, электро-, тепло- и гидроизоляционных, а также в качестве арматуры пластполимерных материалов (стеклопластиков). Особенно большое значение приобрела волоконная оптика:

- световоды в медицине и связи;

– в защитных стеклах–фильтрах используется способность некоторых стекол избирательно поглощать и пропускать электромагнитные волны – световые, инфракрасные, проникающее излучение и др.

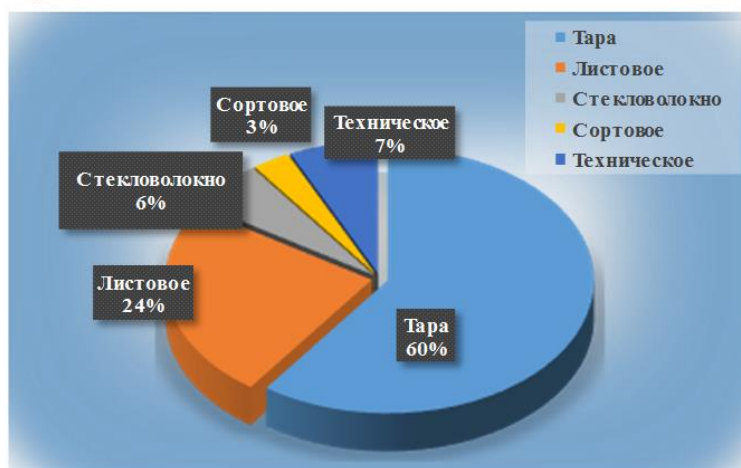
В последние десятилетия области применения стекла непрерывно расширяются, усиленно развивается производство солнцезащитных и энергосберегающих стекол, стеклопакетов, просветленного, неотражающего, противопожарных и броневых стекол.

Таким образом, стекло к настоящему моменту стало материалом широкого пользования, утвердившись в качестве неизменного элемента транспортных средств, строительных конструкций, в атомной, ракетной, электронной и других отраслях техники.

В настоящее время в стекольной индустрии можно выделить следующий ряд основных отраслей, специализирующихся на выпуске массовых видов продукции:

- производство тарного стекла;
- производство листового стекла;
- производство сортового стекла;
- производство стекловолокна;
- производство технического стекла.

Соотношение объемов мирового производства основных видов стекольной продукции (по массе), вырабатываемой перечисленными отраслями, приведено ниже.



Диаграмма, представляющая удельный вес основных видов продукции, выпускаемой стекольной промышленностью

Ниже приведена краткая характеристика ведущих отраслей стекольной промышленности:

1) промышленность плоского стекла в основном ориентируется сегодня на производства флоат-стекла, которое находит широкое применение в различных областях: строительство и архитектура,

остекление транспортных средств, мебельной промышленности. Особенное значение приобрела промышленная обработка базового прозрачного флоат-стекла с целью получения безопасных, терморегулирующих, зеркальных, стекол с покрытиями, поскольку, таким образом, качественно изменяются его основные физико-химические свойства;

2) промышленность полого стекла включает большую группу тарных стекол, сюда же часто включают производство сортового стекла (изделия из высококачественного бесцветного, цветного стекол и хрусталя);

3) к отрасли стекловолокна относится изготовление тепло-, электро-, звукоизоляционных изделий из штапельных волокон, текстильных и упрочняющих волокон для композитных материалов (непрерывное волокно), волокна для систем оптической связи (электронная индустрия);

4) отрасль технического (специального стекла) выпускает продукцию для техники и науки, в частности изделия для оптики, химии, светотехники, электроники и электротехники, фармацевтики и медицины. Сюда же относится производство стеклокристаллических материалов.

Что касается отечественной стекольной отрасли, то здесь наблюдается устойчивый рост сменивший стагнацию и упадок 90-х годов прошлого века, в ходе которых прекратил функционировать ряд предприятий. Тенденция к подъему в стекольной отрасли Республики Беларусь проявилась в начале нового тысячелетия благодаря энергичным мерам, предпринятым государством, притоку инвестиций в подотрасли, интенсивному техническому перевооружению предприятий, оснащению современным стеклоформирующим оборудованием, качественными огнеупорами и автоматизацией технологических процессов. «Программа развития стекольной промышленности Республики Беларусь» принятая на 2006–2010 годы полностью выполнена. В результате чего выросли объемы производства листового и тарного стекла, теплоизоляционных материалов на основе стекло- и минерального волокна. По одному из критериев ЮНЕСКО для развитых стран: производство стекла на душу населения Республики Беларусь с показателем 53 кг/чел находится в ряду развитых стран. Это достигнуто за счет строительства новых цехов большой производительности в условиях ОАО «Гомельстекло», СЗАО «Стеклозавод «Елизово», ОАО «Стеклозавод «Неман», строится новое производство на ОАО «Гродненский стеклозавод».

В настоящее время предприятия Республики полностью удовлетворяют внутреннюю потребность в стеклопродукции, значительная доля ее экспортируется в ближнее и дальнее зарубежье.

А.В. Лихачева, канд. техн. наук, доц.;
И.Ю. Козловская, канд. техн. наук, ст. преп.
(БГТУ, Минск)

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ДЕТСКИЙ ТЕХНОПАРК – ШКОЛА ЯРКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЛЯ МОЛОДЕЖИ

«Технологический парк» – это организация, управляемая специалистами, главной целью которых является увеличение благосостояния местного сообщества посредством продвижения инновационной культуры, а также состоятельности инновационного бизнеса и научных организаций [1].

Первые технологические парки появились в начале 50-х годов прошлого века в США в Стэнфордском университете. В 70-х годах технологический парк появился в Эдинбурге и Кэмбридже. В настоящее время в Европе насчитывается немало число подобных структур, в том числе и разнообразные детские технопарки. Первая волна развития российских технопарков началась в начале 90-х годов. Первый из известных был создан в городе Томске. В настоящее время в стране развит детский технопарк «Кванториум», он имеет сеть технопарков, расположенных в разных городах.

В Беларуси в настоящее время функционируют Китайско-белорусский индустриальный парк «Великий камень», Парк высоких технологий, Минский городской технопарк и др.

Детский технопарк – это попытка перенести институциональный успех «взрослых» технопарков в сферу образования детей.

Национальный детский технопарк – это учреждение образования, целью которого является поддержка одаренных учащихся, развитие у них интереса к научно-технической и инновационной деятельности, стремление к личностным научным достижениям.

Цель создания детского технопарка – внедрение новой модели дополнительного образования для детей.

Национальный детский технопарк создан 1 января 2021 года. Его работа направлена на выявление и развитие у учащихся способностей к научно-исследовательской и изобретательской деятельности. Технопарк ориентирован на подготовку специалистов естественно-научного профиля, информационных технологий, робототехники.

В настоящее время обучение в Национальном детском технопарке реализуется по восьми направлениям: «Зеленая химия» (БГУ); «Робототехника» (БНТУ); «Прототипирование» (БГУИР); «Web-дизайн» (БГУИР); «Программирование микроконтроллеров» (БГУ-

ИР); «Программирование на языке Python» (филиал «Минский радиотехнический колледж» БГУИР); «Инженерная экология (БГТУ); «Биотехнология» (БГТУ).

Работа в технопарке проходит в формате образовательных смен.

Каждая образовательная смена длится 24 дня и включает в себя:

– занятия по образовательным направлениям (образовательная программа дополнительного образования одаренных детей и молодежи), которые проводят преподаватели ведущих вузов страны на базе научных лабораторий

– уроки по учебным предметам (образовательная программа общего среднего образования реализована в лицее БНТУ);

– внеучебную деятельность (экскурсии, развлекательные мероприятия).

Учебная программа по каждому образовательному направлению рассчитана на 72 часа. Занятия проводятся 6 раз в неделю по 4 часа в группах по 7–10 человек.

Учебные программы составлены таким образом, чтобы учащиеся могли овладеть всем комплексом знаний для реализации и защиты исследовательского проекта, работа над которым будет проходить в период обучения.

После освоения программы в очной форме учащимся может быть предоставлена возможность продолжить работу над проектом в заочной форме получения образования по индивидуальной программе. Срок реализации программы в заочной форме получения образования составляет три месяца, программа рассчитана на 120 часов. Занятия проводятся в онлайн-режиме по 3 часа.

Таким образом, работа Национального детского технопарка призвана отслеживать тенденции, определять приоритеты и находить новые решения в сфере образования, открывать возможности для реализации научно-технического потенциала учащихся и вдохновлять на новые идеи и открытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ инновационной деятельности высших учебных заведений России / Гребенюк И.И. [и др.] // Монография [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <https://monographies.ru/en/book/view?id=143> – Дата доступа: 06.01.2022.

2. Национальный детский технопарк // [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <https://ndtp.by/> – Дата доступа: 06.01.2022.

М.И. Кузьменков, проф., д-р техн. наук;
А.А. Сакович, доц., канд. техн. наук;
Д.М. Кузьменков ст. преп., канд. техн. наук;
Д.С. Олесик, студ. (БГТУ, г. Минск)

ОТЕЧЕСТВЕННОЕ ВЫСОКОПРОЧНОЕ ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ

На ОАО «СветлогорскХимволокно» при производстве жаростойкого волокна «Арселон» в качестве отхода образуется отработанная серная кислота в среднем 53 %-ной концентрацией, содержащей около 1 % органических включений. Указанные примеси не позволяют повторно использовать кислоту в технологическом процессе. Попытки их обезвреживания оказались дорогостоящими, причем стоимость регенерированной кислоты получалась в разы дороже свежей. Это привело к необходимости осуществлять нейтрализацию отработанной кислоты кальцинированной содой с последующим сливом в реку Березина.

На кафедре химической технологии вяжущих материалов БГТУ были проведены лабораторные исследования, в результате которых была установлена возможность получения из отработанной кислоты и карбоната кальция синтетического двухводного гипса. Эти результаты были положены в основу исходных данных рабочего проекта по производству синтетического гипса в количестве около 10000 т/год [1]. В качестве сырьевого компонента кроме отработанной серной кислоты был использован отсев известняка, образующийся в виде отхода на ОАО «Белорусский металлургический завод». Рабочее проектирование и поставку оборудования осуществила компания SULTRADE Praha s.r.o. (Чехия). В октябре 2020 г. цех по производству синтетического двухводного гипса был введен в эксплуатацию на ОАО «СветлогорскХимволокно». Это дало предприятию решить задачу не только экологического толка, но и получить годовой экономический эффект около 600000 дол. США.

Технологический процесс включает следующие стадии:

- приготовление известняковой суспензии из молотого отсева известняка;
- проведение реакции нейтрализации с получением суспензии;
- центрифугирование суспензии с получением порошкообразного $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с влажностью 10–15 %.

Порошкообразный $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с влажностью 10–15 % в насто-

ящее время используется на цементных заводах в качестве регуляторов сроков схватывания цемента, а также в качестве сырьевого компонента на заводах по производству газосиликатных блоков по литейной технологии.

Более перспективным направлением переработки указанного продукта может быть получение из него высокопрочного гипсового вяжущего, потребность в котором испытывают заводы по производству сухих строительных смесей, а также заводы ОАО «Керамин» и ЗАО «Добрушский фарфоровый завод» для изготовления литейных форм. В настоящее время потребность указанных предприятий в высокопрочном гипсовом вяжущем покрывается исключительно за счет импорта по цене около 140 дол. США за 1 тонну.

Выполненные поисковые исследования по переработке синтетического гипса на высокопрочное гипсовое вяжущее показали возможность получения целевого продукта требуемого качества.

Из возможных способов получения высокопрочного гипсового вяжущего наибольшее распространение в промышленном масштабе наибольшее распространение получил автоклавный способ, включающий следующие технологические стадии:

- дегидратация синтетического гипса до оптимальной влажности;
- брикетирование синтетического гипса;
- автоклавирование;
- сушка брикетов;
- помол брикетов и упаковка целевого продукта.

Для каждой из перечисленных стадий процесса были установлены оптимальные параметры. Влажность, обеспечивающая хорошую прессуемость и прочностные свойства брикетов установлена в пределах 5 – 7 %. Давление прессования 10 – 15 МПа. Режим автоклавирования был установлен следующий: 0,8 МПа, 150 – 155 °С, выдержка 2 часа. Сушка при температуре 115 – 120 °С. Прочность высокопрочного гипсового вяжущего составила 15 – 17 МПа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьменков М.И., Кузьменков Д.М., Вовк В.И. Технология производства синтетического дигидрата сульфата кальция и переработка его на строительный гипс // Известия высших учебных заведений. Строительство. Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин). Новосибирск. – 2020. – № 10. – С. 101 – 108.

Н.С. Шелковкина, доц., канд. с.-х. наук;
Е.А. Гребенщикова, доц., канд. биол. наук;
Н.А. Горбачева, ст. преп.
(Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск)

ПРОБЛЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ В ЗОЛОТОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

По итогам прошедших лет Амурская область уверенно входит в пятерку лидеров по добыче золота в России. В 2021 году в результате 122 проверок недропользователей выявлено 143 нарушения природоохранного законодательства. Обеспечение экологической безопасности при освоении минеральных ресурсов является важной задачей горно-промышленной экологии. Особо остро стоит проблема восстановления техногенных ландшафтов. Для изучения данной проблемы были рассмотрены территории участков разработки золота двух горнодобывающих предприятий. Первый исследуемый участок золотодобычи находится в Селемджинском районе в пределах поймы реки Большая Эльга. Протяжённость реки более 46 км, площадь водосбора около 300 км². Ширина долины в районе проведения работ достигает 650-700 м, ширина русла колеблется от 12 до 20 м. Второй участок расположен в Шимановском районе в долине ручья Буколь. Протяжённость долины 14 км, ширина 200 - 1600 м. Природные экосистемы таежной зоны богаты и разнообразны, являясь местообитанием многих животных и птиц, занесенных в Красную книгу, что свидетельствует о ценности естественных ландшафтов. Загрязняющиеся во время добычи золота реки несут вред, загрязняя грунтовые воды, разнося вредные химические загрязнения на большие территории. При добыче золота рельеф речных долин претерпевает серьезные изменения. Исследуемая территория представляет собой склоновые поверхности различной формы с пересечением разделительных дамб, каналов, отстойников и других сооружений. Строительство таких сооружений привело к существенным изменениям и в почвенном сложении. Поверхность месторождений после проведения добычных работ будет представлять собой мелкокарьерный техногенный комплекс в составе отвалов вскрыши по обе стороны карьера, галлеэфельных отвалов внутри карьера, карьерной выемки, руслоотводных канав, рабочих и фильтрационных отстойников и их дамб. Следует так же отметить, что Амурская область богата лесами: они занимают более 45% территории [4,5] и леса нуждаются в обеспечении экологической безопасности. Анализ нарушенных земель при добыче золота дражным способом по двум объектам показал, что каждый вид нарушенных земель в той или иной мере будет воздействовать на компоненты окружающей среды. Образующиеся карьерные выемки, понижают уровень

грунтовых вод в долине реки, что ведет к изъятию значительной части стока. Наблюдаются эрозионные процессы бортов, которые протекают под влиянием природно-климатических условий. В тоже время затопленные выработки несут отрицательное воздействие на речную сеть, а именно вынос взвесей и рост потерь на испарение, что ведет к снижению стока реки и влияет на экологические функции водных экосистем. Галлефельные отвалы иссечены воздействием водной и ветровой эрозией именно эфельной составляющей, так как сложены из легких типов грунтов. При этом данные насыпи можно использовать для заполнения выработанного пространства. При разработке месторождений нарушается значительная площадь лесных угодий, на которой постепенно формируется специфический техногенный ландшафт. В зависимости от площади и глубины отработки определяется масштаб произошедших изменений поверхности почвы и экосистемы в целом. Площадь исследуемых техногенных территорий составила 203,2 га. При определении направления рекультивации земель учитывается необходимость их приведения в состояние, соответствующее их целевому назначению и разрешенному использованию с учетом фактического состояния участка и условий дальнейшего использования земель [2]. Поскольку участки месторождений находятся, в основном, на землях лесного фонда применение лесохозяйственного направления рекультивации остается актуально на нарушенных землях при золотодобыче. На землях исследуемых объектов имеется маломощный почвенный слой, представленный глееватым дерновым горизонтом грубой структуры и характеризующийся низким плодородием. Средняя мощность почвенно-растительного слоя в пределах участков месторождений, вовлекаемых в промышленную отработку дражным способом по данным геологоразведочных работ составляет менее 10 см. Он представлен суглинком с включением растительно-древесных остатков и обломочного материала (щебень, галька). Снятие и складирование почвенного слоя не предусматривается, в связи с его нарушенностью предыдущими эксплуатационными работами [3].

При этом согласно земельному законодательству РФ необходимо предусмотреть восстановление земель, нарушенных в процессе работ. С учетом современного состояния участков и их удаленности от населенных пунктов принимается горнотехнический этап рекультивации нарушенных земель с выравниванием поверхности для последующего восстановления растительного покрова. Выполняется планировка всех видов отвалов, выполаживание бортов разрезов и отвалов, ликвидация временных сооружений. При разработке месторождений на их площади образуется обширная таликовая зона и нарушается литологический разрез рыхлых отложений с захоронением в котлованах основной массы илисто-глинистых грунтов и выносом на дневную поверхность хорошо дренируемых и прогреваемых на солнце песчаных и супесчаных грун-

тов. Данные грунты в смеси с илисто-торфянистыми относятся к потенциально плодородным и пригодны для естественного залужения и лесовосстановления. Гребнистый характер рекультивируемых земель и восстановление на их поверхности плодородного слоя с легким песчаным составом, одновременно с созданием благоприятного теплового режима и устранением многолетней мерзлоты, а также наличие по контуру участков стен растущего леса будет способствовать ускоренному возобновлению вначале лиственной растительности, а в последующем и хвойных пород деревьев. Для проведения биологического этапа рекультивации нарушенных земель необходимо лесохозяйственное направление рекультивации, посадка одно-двухлетних саженцев хвойных деревьев, посадка влаголюбивых пород (осина, тополь, ива) на остаточных горных выработках. При выборе ассортимента культур целесообразно выбирать растения, которые характерны для данного климатического пояса.

Таким образом, рекультивация техногенно-нарушенных территорий минимизирует негативное влияние деятельности золотодобывающих предприятий, способствуя нормальному функционированию земель по долинам ручьев, восстановлению растительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 59057-2020. Охрана окружающей среды. Земли. Общие требования к рекультивации земель URL: <https://docs.cntd.ru/document/566277874> (дата обращения 08.01.2022)
2. ГОСТ 17.5.3.05-84. Охрана природы. Рекультивация земель. Общие требования к землеванию URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200021554> (дата обращения 08.01.2022)
3. Grebenschikova E., Shelkovkina N., Gorbacheva N. Biological remediation of roadside areas. В сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. "Ecological and Biological Well-Being of Flora and Fauna, EBWFF 2020" 2020. С. 05008. DOI: 10.1051/e3sconf/202020305008
4. Romanova, N.A., Zhirnov, A.B., Yust, N.A., Fucheng, X. Impact of forest growth conditions on the wood density: The case of Amur Region Folia Forestalia Polonica, Series A 60(4), с. 292-298 DOI 10.2478/ffp-2018-0030
5. Юст Н., Тимченко Н., Щербакова О. Сравнительный анализ дендрофлоры парков Благовещенска. Фундаментальные и прикладные научные исследования в развитии сельского хозяйства на Дальнем Востоке (АФЭ-2021). AFE 2021. том 353 с. 589-601. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91402-8_66

Г.В. Лисачук, К.В. Белогубкина, Р.В. Кривобок,
О.Ю. Федоренко, А.В. Захаров (НТУ «ХПИ» г. Харьков, Украина)

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОПРОЗРАЧНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИЙ СИСТЕМЫ $BaO-ZnO-Al_2O_3-SiO_2$

В условиях эксплуатации летательных аппаратов головные обтекатели, защищающие радиоантенное оборудование, испытывают значительные напряжения механического и термического происхождения. В связи с этим, с учетом выполнения требований по радиопрозрачности для изготовления обтекателя приоритетным является использование жаропрочных, высокопрочных и термостойких керамических материалов. По сравнению с монофазными керамические радиопрозрачные материалы на основе двух или более фаз, обеспечивают низкий коэффициент отражения радиоволн (до 1%) в интервале рабочих температур и частот при одновременном повышении прочности и термостойкости обтекателей [1].

В данной работе представлены результаты разработки составов и исследования свойств радиопрозрачной керамики виллемит-цельзианового состава на основе композиций системы $ZnO - BaO - Al_2O_3 - SiO_2$. Исследования субсолидусного строения данной системы свидетельствует о возможности синтеза целевого комплекса фаз при температуре 1200 °С в пределах существования тетраэдра $Zn_2SiO_4-ZnAl_2O_4-SiO_2-BaAl_2(SiO_4)_2$ с температурой эвтектики 1320 °С.

Для приготовления технологических смесей использовали новоселовский кварцевый песок (99,53% SiO_2 ; 0,04% Fe_2O_3 ; 0,2% CaO), металлургический глинозем Г-00, цинковые белила и карбонат бария. В качестве исходной массы (I_0) использовали состав, разработанный при соблюдении соотношения $BaAl_2Si_2O_8 : Zn_2SiO_4 = 1 : 1$ с учетом стехиометрии фаз. Для интенсификации процессов спекания и фазообразования керамики использовали добавки: L (2 масс. % Li_2O) и E (1 % эвтектической смеси системы Li_2O-SnO_2), которые вводили в массы (I_L и I_E соответственно) сверх 100 % [2]. Технология изготовления образцов включала синтез целевых фаз (обжиг с выдержкой 1 час при максимальной температуре 1200 °С и скорости нагрева 10 °С/мин), приготовление водных суспензий с влажностью 30 %, шликерное литье образцов в виде полого конуса и спекание изделий (выдержка 1 час при максимальной температуре 1200 °С и скорости нагрева 15 °С /мин). Для готовых образцов определяли характеристики спекания, электрофизические и физико-механические свойства (рисунок 1).

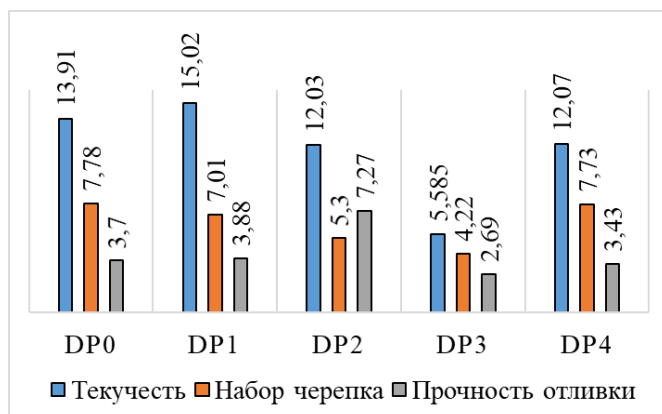


Рисунок 1 – Свойства образцов виллемит-цельзиановой керамики

Фазовый состав полученных материалов определяли методом рентгенофазового анализа на дифрактометре ДРОН 3М. Согласно данным РФА в составе полученных образцов керамики идентифицированы виллемит Zn_2SiO_4 ($d=0,699$; $0,403$; $0,349$; $0,2837$; $0,2636$; $0,2318$ нм) и цельзиан ($0,4594$; $0,3856$; $0,3784$; $0,3518$; $0,3455$; $0,3315$; $0,3254$; $0,3008$; $0,2764$; $0,2569$ нм) при незначительном содержании рентгеноаморфной фазы. Такой фазовый состав керамики обеспечивает необходимый для радиопрозрачных материалов уровень электрофизических характеристик ($tg \delta = 10^{-2}-10^{-5}$, $\epsilon < 10$). Результаты исследований показали (рисунок 1), что введение добавок L и E способствует уменьшению диэлектрических потерь при незначительном увеличении общей пористости керамики ($\Pi = 0,45-0,94$ %). Низкие показатели водопоглощения образцов I_0 и I_L ($W = 0-0,31$ %) свидетельствуют о достижении максимальной степени спекания, тогда как образцы серии I_E , содержащие эвтектическую добавку, имели признаки высокотемпературной деформации. Высокий уровень спекания и синтез заданных фаз обеспечивают повышенные физико-механические свойства керамики. Наиболее высокий уровень физико-механических свойств наблюдается для образцов I_0 , не содержащих добавок. Как видно из полученных данных, введение добавки Li_2O существенно снижает показатели твердости и предела прочности при сжатии виллемит-цельзиановой керамики (на 60 % и 55 % соответственно).

Определение параметров формования полуфабрикатов при изготовлении керамических обтекателей является важной технологической задачей. Выбор количества добавок для регулирования свойств шликера виллемит-цельзиановой керамики проводили с учетом необходимости повышения прочности отливки из непластичных шликеров, а также оптимального с точки зрения технологии уровня их свойств [3-5]: текучесть шликера – $6 \div 12$ с, скорость набора массы – $5 \div 8$ г/мин. Для оптимизации реологических свойств непластичных шликеров с учетом рекомендаций фирмы-изготовителя [3] использо-

вали препарат Dolapix PC 67 (натриевая соль поликарбоневой кислоты). Для повышения прочности отливки в шликер вводили ПВС 1788 [4]. На основании полученных данных (рисунок 2) установлен состав комплексной добавки для получения шликера с высокой текучестью ($\tau_1=12,03$ с) и скоростью набора черепка (5,3 г/мин), введение которой обеспечивает высокую прочность отливки ($\sigma_{изг}=7,27$ МПа), масс. %: Dolapix PC 67 – 0,14; ПВС 1788 – 1,05 при дозировке сверх 100 % на сухое вещество).



	Dolapix PC 67	ПВС 1788
DP ₀	0,42	1,05
DP ₁	0,42	0,35
DP ₂	0,14	1,05
DP ₃	0,14	0,35
DP ₄	0,28	1,05

Рисунок 2 – Влияние добавок физико-механические свойства шликеров

Вышеуказанные рецептурно-технологические параметры служат основой для разработки технологии изготовления радиопрозрачных обтекателей из виллемит-цельзиановой керамики, обладающей рядом технологических преимуществ (максимальной степенью спекания при сравнительно небольшой усадке и кажущейся плотности), а также комплексом необходимых диэлектрических и физико-механических характеристик, определяющих эффективность ее использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиопрозрачные стеклокерамические материалы / Н. Е. Уварова и др.] // Успехи в химии и хим. технологии. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2007. – Т. 21, № 7. – С. 96–97.
2. Influence of complex activators of sintering on creating radio-transparent ceramics in SrO–Al₂O₃–SiO₂ / G. Lisachuk, R. Kryvobok, A. Zakharo, and oth. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologie. – 2017. – 1/6 (85). – С. 10–15.
3. Zschimmer&Schwarz. Ceramic auxiliaries: Suspension aids. – <https://www.zschimmer-schwarz.com>
4. Shanefield D. J. Organic additives and ceramic processing. – Boston : Kluwer Academic Publishers, 1996. – 316 p.
5. Дятлова Е.М., Климош Ю. А. Химическая технология керамики и огнеупоров. – Минск.: БГТУ, 2014. – 224 с.

О.Н. Борисенко, докторант, канд. техн. наук;
Г.Н. Шабанова, проф., д-р техн. наук (НТУ «ХПИ», г. Харьков);
С.М. Логвинков, проф., д-р техн. наук (ХНЭУ им. С. Кузнеца, г. Харьков);
И.А. Остапенко, ген. директор, канд. техн. наук
(ООО«ДОЗ», г. Дружковка)

ПЕРИКЛАЗОШПИНЕЛЬНЫЕ ОГНЕУПОРЫ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ $MgO - Al_2O_3 - FeO - TiO_2$ ДЛЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ

В последние десятилетия в производстве огнеупоров для цементной промышленности наблюдается значительный прогресс. Среди тепловых агрегатов в цементной отрасли наибольшее распространение получили вращающиеся печи, эксплуатация огнеупорной кладки которых происходит в очень сложных условиях. Помимо химического взаимодействия с продуктом обжига футеровка подвержена температурному напряжению, вызываемому перепадом температур, а также воздействию механической нагрузки от давления корпуса печи. Долговечность футеровки вращающихся печей зависит от интенсивности нагрузок (химических, термических, механических), действующих на огнеупорный материал футеровки [1].

Основные требования, которые предъявляют к огнеупорным изделиям для футеровки вращающихся печей обжига цементного клинкера: высокая плотность и прочность, низкая пористость и газопроницаемость, повышенная устойчивость к истиранию, низкая теплопроводность, высокая коррозионная стойкость и способность к образованию защитного слоя [2].

Сегодня основной целью современных исследователей является создание термостойкого огнеупора с гибкой структурой, что обеспечивает его целостность при высоких температурах и механических нагрузках, и которые обладают способностью к образованию защитного слоя.

В работе апробирован технологический подход введения в состав сырьевой шихты периклазошпинельных огнеупоров добавок содержащих оксид титана (IV) и оксид железа (II).

Основным компонентом периклазошпинельных огнеупоров является периклаз, который имеет высокую температуру плавления, обладает высокой стойкостью к щелочным флюсам и шлакам. Шпинель – второй компонент, который вводят в состав периклазошпинельных материалов, который способствует значительному улучшению эксплуатационных характеристик данных материалов. Добавка TiO_2

способствует уплотнению шпинели и предохраняет ее от интенсивного окисления. Наличие FeO способствует образованию защитного слоя на контакте цементного клинкера с огнеупором.

Основой для производства таких периклазошпинельных огнеупоров является четырехкомпонентная система $MgO - Al_2O_3 - FeO - TiO_2$, термодинамически стабильными фазами которой являются: MgO , Al_2O_3 , TiO_2 , FeO , $MgAl_2O_4$ (алюмомагнезиальная шпинель), $FeAl_2O_4$ (герцинит), Fe_2TiO_4 (ульвошпинель), $FeTi_2O_5$ (псевдобрукит), $MgTiO_3$ (гейкелит), $FeTiO_3$ (ильменит), Al_2TiO_5 (тиалит). На основе термодинамических расчетов системы $MgO - Al_2O_3 - FeO - TiO_2$ [3–5] подобрано содержание отдельных компонентов шихты и спрогнозированы эксплуатационные характеристики периклазошпинельных материалов.

В результате проведенных исследований установлено, что введение добавок на основе оксид титана (IV) и оксид железа (II) в состав периклазошпинельных материалов способствует специфической структурно-фазовой адаптации материала и сохранению целостности изделий из него при одновременном воздействии циклических термических нагрузок, коррозионного и абразивного износа во вращающихся печах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shubin V.I. Mechanical effects on the lining of rotary cement kilns // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2001. Vol. 42, no. 5. P. 245–250.
2. Shubin V.I. Design and service conditions of the refractory lining for rotary kiln // *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2001. – Vol. 42, no. 3. – P. 130–136.
3. Борисенко О.М., Логвінков С.М., Шабанова Г.М., Корогодська А.М., Остапенко І.А., Івашура А.А. Термодинамічні дослідження в системі $MgO - FeO - Al_2O_3$ // Наукові дослідження з вогнетривів та технічної кераміки. Збірник наукових праць. – 2020. – № 120. – С. 115–119.
4. Borysenko O.M., Logvinkov S.M., Shabanova G.M., Ostapenko I.A. Thermodynamics of phase transitions in the subsolidus domain of the $FeO - MgO - TiO_2$ system // *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. – 2021. – No. 1. – P. 12–15.
5. Borisenko O., Logvinkov S., Shabanova G., Mirgorod O. Thermodynamics of Solid-Phase Exchange Reactions Limiting the Subsidiary Structure of the System $MgO - Al_2O_3 - FeO - TiO_2$ // *Materials Science Forum*. – 2021. – Vol. 1038. – P. 177–184.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОРТОФОСФАТА АЛЮМИНИЯ ИЗ ЕГО ПЕРЕСЫЩЕННЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Известно, что фазообразование вещества можно определить как последовательность этапов зарождения, роста, спонтанного упорядочения структуры и состава первичных частиц, оствальдова созревания, агломерации и упорядочения агломератов. При этом, роль пересыщения является определяющей в образовании вещества. Многочисленными исследованиями показано, что при увеличении пересыщения резко возрастают скорости зарождения и роста частиц, причем скорость зарождения в большей степени, чем скорость роста. Вследствие этого в средах с высоким пересыщением образуются высокодисперсные вещества, причем их частицы имеют повышенную ростовую дефектность вплоть до полной аморфизации [1].

Ранее нами показано [2], что кристаллизация ортофосфата алюминия состава $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с моноклинной структурой из пересыщенных растворов, образующихся при взаимодействии фосфорной кислоты и гидроксида алюминия, является медленным процессом, продолжительность которого составляет до 48 – 50 часов при температуре 95–97°C. Основной причиной низкой скорости фазообразования в системе $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{H}_2\text{O}$ является устойчивость пересыщенных водных растворов ортофосфата алюминия. При этом отмечено, что скорость кристаллизации, форма образующегося осадка (взвешенный слой во всем объеме жидкой фазы или плотный, хорошо оседающий слой) зависят от температуры и концентрации раствора.

В данной работе исследовано влияние свойств насыщенных растворов, полученных в системе $\text{Al}(\text{OH})_3 - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ на процесс конденсации твердой фазы при температурах 60–97°C.

Алюмофосфатные растворы с концентрацией P_2O_5 от 300 до 440 г/л получали растворением $\text{Al}(\text{OH})_3$ в H_3PO_4 при мольном соотношении $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 2,75$ и температуре 85°C. Содержание H_3PO_4 в растворе фосфорной кислоты составляло 34,3–50,0 мас.%. Гидроксид алюминия с размером частиц 20–100 мкм растворяли порциями, до полного исчезновения твердой фазы в растворе.

Динамическую вязкость η [мПа·с] приготовленных растворов определяли с помощью ротационного вискозиметра Brookfield RVDV-II+Pro (США) со скоростью вращения шпинделя 02 равной 200 об/мин (при 65°C). Измерения оптической плотности d проводили

на спектрофотометре Metertech UV/VIS SP8001 (Тайвань) относительно воды при длине волны 450 нм. Для измерения плотности ρ [г/см³] растворов использовался набор денсиметров (ГОСТ 1300-57).

В таблице 1 приведена зависимость вязкости, плотности, оптической плотности от концентрации насыщенных алюмофосфатных растворов.

Таблица 1 – Характеристика алюмофосфатных растворов

№	Мольное соотношение P ₂ O ₅ /Al ₂ O ₃	w(H ₃ PO ₄), %	Концентрация Al ₂ O ₃ /P ₂ O ₅ , г/л	η , мПа·с	d	ρ , г/см ³	Визуальная оценка раствора
1	2,75:1	34,3	71,9/300,0	25,8	0,121	1,265	прозрачный
2		37,5	80,4/335,0	29,0	0,209	1,318	
3		40,6	88,8/370,0	34,6	0,268	1,340	вязкий, с матовым оттенком
4*		50,0	109,7/420,0	50,4	0,331	1,405	

Примечание. * – раствор приготовлен с использованием фосфорной кислоты с содержанием H₃PO₄ 50 мас. %, концентрация 420 г/л по P₂O₅ достигнута разбавлением алюмофосфатного раствора водой

Согласно представленным данным, с увеличением концентрации растворов заметно изменяются их свойства. При концентрации Al₂O₃, P₂O₅ выше 80,4 и 335 г/л, соответственно, раствор приобретает матовый оттенок, существенно возрастает динамическая вязкость и плотность. Исходя из общих представлений фазообразования [1], изменение свойств исследуемых алюмофосфатных растворов связано с достижением концентрации насыщения, при котором происходит образование групп молекул (кластеров), постепенно укрупняющихся в результате их роста и слипания. Как известно, предвестником появления твердого вещества в гомогенной среде являются зародыши твердых тел, т. е. это молекулярные кластеры такого размера, что вероятность последующего их распада незначима. Следует отметить, что несмотря на создание в алюмофосфатных растворах пересыщения, они обладают устойчивостью, которая, однако, зависит от концентрации и температуры. При температурах менее 80 – 85°С конденсация твердой фазы, даже при относительно высоких концентрациях P₂O₅ в растворе (420 г/л), не происходит. Данный факт может быть связан с тем, что комплексные алюмофосфатные ионы значительно гидратированы и обладают большой стабильностью, что затрудняет формирование достаточного количества зародышей. При увеличении температуры до 95 – 97°С за счет разрушения внешних гидратных оболочек, удаления молекул H₂O из внутренней координационной сферы катиона, по всей видимости, происходят структурные изменения в пересыщенных алюмофосфатных растворах, способствующие их нестабильности и образованию активных центров.

В таблице 2 представлены данные об индукционном периоде

фазообразования в исследуемых растворах, в течение которого происходит накопление достаточного количества зародышей для конденсации твердой фазы. Температура растворов, предварительно старевших при 60°C, составляла 95–97°C.

Таблица 2 – Влияние концентрации растворов на продолжительность индукционного периода

№	Содержание Al ₂ O ₃ /P ₂ O ₅ в растворе, г/л	Продолжительность индукционного периода, ч	Характеристика осадка
1	71,9/300,0	10–12	Плотный, хорошо оседающий слой, микрокристаллический продукт
2	80,4/335,0	10–12	
3	88,8/370,0	8–10	
4	109,7/420,0	5–6	Взвешенный слой во всем объеме жидкой фазы, пастообразный продукт

Продолжительность индукционного периода, как следует из экспериментальных данных, зависит от концентрации алюмофосфатных растворов и заметно снижается с повышением в них Al₂O₃, P₂O₅. Образование частиц твердой фазы в растворах с концентрацией P₂O₅ 300, 335 г/л начинается через 10–12 часов после их гидротермального нагревания при 95–97°C. Повышение концентрации Al₂O₃, P₂O₅ в растворах сокращает продолжительность периода индукции в 2,0–2,5 раза (таблица 2). Следует отметить влияние концентрации алюмофосфатных растворов на форму и дисперсность кристаллизующегося алюмофосфата, что, скорее всего, связано со степенью пересыщения и, следовательно, скоростью образования зародышей и их ростом. Для раствора с концентрацией P₂O₅, равной 420 г/л, характерно образование пастообразного алюмофосфата, имеющего низкий коэффициент фильтрации. В то же время при концентрации P₂O₅ 300–370 г/л формирующаяся твердая фаза состоит из микрокристаллов, хорошо отстаивается и уплотняется.

Из анализа экспериментальных данных следует, что скорость зарождения твердой фазы в метастабильных пересыщенных алюмофосфатных растворах определяется их концентрацией и температурой. Установлено, что в зависимости от данных факторов возможно управлять дисперсностью кристаллизующегося алюмофосфата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелихов И.В. Физико-химическая эволюция твердого вещества. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 309 с.
2. Ещенко Л.С., Понятовский О.В. Особенности синтеза высокодисперсных алюмофосфатов состава AlPO₄·nH₂O // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2021. – Т.57, №3. – С. 310 – 319.

УДК 666. 1.031

Л.Л. Брагина, проф., д-р техн. наук (НТУ «ХПИ», г. Харьков, Украина)
С.Н. Яицкий, канд. техн. наук (Стекольный консалтинг, г. Харьков, Украина)

НИЗКОЭМИССИОННЫЕ ФЛОАТ-СТЕКЛА С УПРОЧНЕННЫМИ МАГНЕТРОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

В настоящее время одним из эффективных решений важнейшей проблемы энергосбережения в архитектуре и строительстве во многих странах мира признано использование низкоэмиссионных флоат-стекол, которым свойственно поглощение солнечной тепловой радиации, весьма низкое пропускание в видимой части спектра, обеспечение более комфортного, по сравнению с бесцветным стеклом, освещения и способность защищать внутренние помещения от разрушающего воздействия ультрафиолетовых лучей [1, 2]. Создание и производство указанных стекол является одним из наиболее перспективных направлений в мировой стеклоиндустрии [3]. Среди них следует отметить закаленные безопасные стекла, находящие все более широкое использование в многоэтажных зданиях.

Достижение низких значений излучающей способности – эмиссии стекол реализуется окрашиванием их в массе либо нанесением специальных «твердых» и «мягких» низкоэмиссионных покрытий с получением соответственно К, или Low-E, и I, или Double Low-E, стекол. Более энергоэффективными признаны I-стекла, имеющие широкий диапазон цветовых характеристик и производимые такими известными международными корпорациями, как Pilkington, Guardian, Saint-Gobain, PPG, а в Украине – ЗАО «ЛСЗ «Пролетарий» (ныне ООО «Лисичанский стекольный завод»). Однако эти стекла отличаются недостаточной механической прочностью «мягких» покрытий. Это, а также невозможность осуществления закалки Double Low-E стекол при используемой на ООО «ЛСЗ» технологии их производства обусловили проведение исследований, направленных на разработку составов и технологии мультифункциональных низкоэмиссионных стекол с упрочненными магнетронными покрытиями.

Для предварительных расчетов оптических характеристик и состава многослойных магнетронных нанопокровтий использовали так называемый конструктор CODE, действие которого базируется на программном обеспечении «W.Theiss Hard- and Software for Optical Spectroscopy» моделирования спектра [4]. Измерение оптических характеристик стекла производили сканирующим спектрофотометром Photon RT, прочность покрытий на истирание определяли на приборе Gardner AG-25469-93, качество стекла анализировали in situ с помо-

пью системы FloatScan Smart компании ISRA vision. Нанесение покрытий в производственных условиях на плоские листы высококачественного щелочно-известково-силикатного флоат-стекла толщиной 4 мм осуществляли методом катодного напыления в электромагнитном поле в условиях вакуума на магнетронной установке GC-254H. Для получения диэлектрического, адгезионного, функционального и других слоев покрытия общей толщиной до 140 нм применяли мишени из соответствующих материалов. Толщина каждого из указанных слоев составляла от 5 до 50 нм.

Как правило, основной теплосберегающий эффект рассматриваемых покрытий достигается за счет мягкого слоя серебра. Остальные оксидные, нитридные и другие слои выполняют функции адгезии к поверхности стекла, защиты серебряного слоя от механических повреждений, обеспечения требуемых оптических и электрических характеристик покрытия в целом. Однако в процессе закалки низкоэмиссионных I-стекол имеет место резкое ухудшение адгезионных свойств и механической прочности покрытий из-за удаления кислорода из оксидных слоев. В связи с этим были проведены исследования по упрочнению мягких магнетронных покрытий, которые включали корригирование состава и свойств составляющих слоев их легированием, регулирование режима работы магнетронов и использование определенных газов для формирования соответствующих соединений.

В результате разработаны состав и структура низкоэмиссионного покрытия, состоящего из адгезионного, функционального, диэлектрического, барьерного и отражающего слоев. Его повышенную прочность обеспечило использование слоя Si_3N_4 , легированного алюминием, что позволило не только существенно увеличить сопротивление истиранию, но и улучшить спектральные характеристики при уменьшении количества слоев и общей толщины.

Установлены закономерности распределения слоев в пленочной системе $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{NiCr}/\text{Si}_3\text{N}_4$. Отработаны технологические параметры нанесения многослойных нанопокровтий общей толщиной до 140 нм, что впервые позволило закалять I-стекло с ними, а именно: мощность магнетронов от 5 до 60 кВт, скорость движения рольганга 0,5-2,5 м/мин., использование O_2 , N_2 , Ar как рабочих газов. Это обеспечило необходимые интегральные коэффициенты пропускания солнечного излучения $\tau_s=40,8\%$, отражения солнечного излучения $\rho_s=26,4\%$ и коэффициент теплопередачи $1,19 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, что подтверждено опытно-промышленными испытаниями [5].

Проведенная фирмой «Rosenheim» экспертиза подтвердила высокий уровень эмиссионной способности разработанных стекол

($E_n=0,05$), в соответствии с чем они практически идентичны продукции Pilkington и Guardian. Отработка и внедрение параметров получения низкоэмиссионных I-стекол с созданными покрытиями обеспечили их необходимые спектральные и эксплуатационные показатели по международным стандартам ГОСТ EN 673–2016 и ГОСТ EN 410–2014 и привели к повышению до 94 % выпуска годной продукции, практически не уступающей лучшим зарубежным аналогам, но более дешевой, которая широко применяется при остеклении многоэтажных зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jelle B.P., Kalnaes S.E., Gao Tan. Low-Emissivity Materials for Building Applications: A State of the Art Review and Future Research Perspectives // *Energy and Buildings*. – 2015. – № 3. – P. 96–106.
2. Bos F., Louter C. Structural Glass in Architecture // *Encyclopedia of Glass Science, Technology, History, and Culture*, Chapter 9.1. 01 February 2021.
3. Bull S.J. Elastic properties of multilayer oxide coatings on float glass // *Vacuum*. – 2015. – № 114. – P. 150–157.
4. Yaitsky S.N., Bragina L.L., Iskrych Yu. Innovative trends in the production of architectural-building glass // *Fundamentalis scientiam*. – 2018. – Vol. 1. – № 21. – P. 66-69.
5. Bragina L. Integration of modern technology for architectural-building glass production / L. Bragina, S.Yaitsky, D. Petrov, O. Starolat // *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2021. – 2(8). – P. 90–95.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОЛЕВОГО СОСТАВА КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ЭТАПЕ ФРАНКО-ПОЛЯ

Среди основных показателей, регламентирующих качество минеральных удобрений, наряду с содержанием основных питательных веществ важное место занимают их физико-механические свойства – слеживаемость, гигроскопичность, статическая прочность, истираемость, рассеиваемость и др. Важность этих показателей обусловлена тем, что логистическая цепочка «франко-поле» включает много промежуточных стадий транспортировки, хранения, перегрузки и др.

Вопросу улучшения физико-механических свойств минеральных удобрений посвящено значительное количество научных работ и публикаций. Однако методологически при проведении исследований отдельные гранулы рассматривались как моночастицы, имеющие однородный состав по всему объему, и соответственно приводился усредненный химический состав отдельных проб удобрений. Наиболее распространенный метод гранулирования комплексных минеральных удобрений, реализуемый в том числе и в Республике Беларусь, включает последовательное нанесение отдельных слоев (частиц или плава) на ядро гранулы с одновременной кристаллизацией солей на поверхности формируемых гранул в процессе их окатывания в аппаратах барабанного типа (барабанный гранулятор, гранулятор-сушилка). Таким образом, можно предположить возможное протекание химических и физико-химических процессов в отдельных слоях в объеме гранулы, приводящих к изменению физико-механических свойств удобрений не только в процессе их образования, но и на стадии хранения.

Принятая номенклатура обозначения комплексных удобрений отражает только содержание отдельных макро и микроэлементов, но не учитывает вид и качество используемого фосфатного сырья, особенности отдельных технологических процессов (вид и условия введения азот- и калийсодержащих компонентов, способ аммонизации), а также особенности применяемого оборудования. Вышеперечисленные и иные факторы в значительной степени определяют физико-механические характеристики конкретных образцов удобрений и объясняют существенные различия в свойствах аналогичных марок комплексных удобрений различных производителей, а также не позволя-

ют аппроксимировать результаты исследований конкретных марок удобрений одного производителя на аналогичные по содержанию марки иных производителей.

Таким образом, получение объективных данных о физико-механических свойствах комплексных минеральных удобрений, а также установление физико-химических особенностей протекающих процессов возможно только с учетом особенностей конкретного производителя.

Целью проведенных исследований являлось изучение физико-химических превращений, протекающих в объеме гранул комплексных минеральных удобрений в процессе хранения на протяжении 6 месяцев для различных марок комплексных NPK удобрений.

В качестве объектов исследования выбраны одни из наиболее востребованных на мировом рынке марок полных комплексных удобрений производства ОАО «Гомельский химический завод»:

– комплексное гранулированное азотно-фосфорно-калийное удобрение марки 16-16-16, полученное с использованием в качестве азотного сырья приллированного и гранулированного карбамида в массовом соотношении 50 : 50, выпускаемое цехом сложно-смешанных удобрений (ЦССМУ);

– комплексное гранулированное азотно-фосфорно-калийное удобрение марки 16-16-16, изготовленное с использованием в качестве азотного сырья приллированного карбамида, выпускаемое ЦССМ;

– комплексное гранулированное азотно-фосфорно-калийное удобрение марки 15-15-15, выпускаемое цехом гранулированного аммофоса (ЦГА).

Для определения распределения отдельных компонентов в объеме гранул при подготовке образцов предварительно осуществлялась классификация представленных образцов с выделением фракции -4 мм + 3 мм. Далее каждую гранулу выбранной фракции равномерно стачивали с отбором проб материала по глубине гранулы: 1 мм, 2 мм и сердцевине гранулы. Контроль толщины стачиваемого слоя осуществляли микрометром путем трех измерений в различных плоскостях. Таким образом, для каждой марки удобрения готовились 3 образца (1-й слой – наружный, 2-й слой – промежуточный и 3-й слой – сердцевина).

Анализ исследуемых образцов, выполненный непосредственно после их отрузки на склад, а также после 90 и 180 суточного хранения позволяет сделать вывод, что реализуемые на ОАО «Гомельский химический завод» технологические процессы обеспечивают получение

однородных в объеме по химическому составу гранул. Данный факт представляется важным, поскольку неоднородность состава является одной из причин неудовлетворительных физико-механических свойств удобрений. Сравнение результатов химических анализов содержания различных форм фосфора через 180 дней показывает отсутствие протекания процесса ретроградации для исследуемых марок удобрения. Это обусловлено использованием в качестве исходного фосфатного сырья апатитового концентрата, характеризующегося низким содержанием полуторных оксидов, являющихся главной причиной протекания нежелательного процесса ретроградации.

Результаты электронно-микроскопических исследований гранул удобрений марки 16-16-16 позволяют сделать заключение об однородности поверхности и отсутствии вкраплений. Это подтверждает необходимость дробного введения хлорида калия в частично аммонизированные суспензии до стадии грануляции при получении удобрений с высоким содержанием калия.

Для установления фазового и минералогического состава выполнен рентгенофазовый и рентгенофлуоресцентный анализ образцов. Обращает на себя внимание отсутствие на рентгенограммах образцов рефлексов, характерных для сульфата аммония (в пределах чувствительности метода). В то же время имеются четкие рефлексы, характерные для двойных солей калия-аммония, в частности аммонийного арканита – $(K, NH_4)_2SO_4$.

Для всех образцов наблюдаются одни и те же изменения интенсивности пиков, что говорит об увеличении или уменьшении количества той или иной фазы. Следовательно, протекают конверсионные процессы взаимодействия хлористого калия с другими компонентами системы. А после шестимесячного хранения наблюдаются обратные закономерности, следовательно, протекают конверсионные процессы обратные взаимодействию хлористого калия с другими компонентами системы.

Согласно рентгенофазовому и химическому анализам, помимо основных идентифицированных фаз в образцах также присутствуют соединения фтора, железа и алюминия, количество которых, однако, находится ниже пределов чувствительности оборудования рентгенофазового анализа. Согласно литературе, указанные соединения присутствуют в виде фосфатов алюминия, железа и фторида кальция.

В результате определения фазового состава исследуемых образцов комплексных удобрений установлено наличие в составе комплексных удобрений двойных солей калия и аммония. Образование

указанных двойных солей подтверждает протекание вторичных конверсионных процессов хлорида калия с образующимся на стадии аммонизации сульфатом и дигидрофосфатом аммония. Присутствие рефлексов, отвечающих аддукту карбамида с хлоридом аммония, также подтверждает протекание вторичных конверсионных процессов согласно реакциям:

В результате протекания указанных реакций образования двойных солей и твердых растворов по всей глубине (объему) гранул изменяется дисперсная структура как приповерхностного слоя, так и самой гранулы, что приводит к снижению ее прочности, а при взаимодействии между поверхностными слоями отдельных гранул происходит увеличение слеживаемости. Содержащийся в составе комплексных удобрений карбамид в присутствии жидкой фазы (воды) может подвергаться гидролизу с образованием карбамата аммония, который в свою очередь разлагается на диоксид углерода и аммиак. В частности, при хранении в течение 180 сут. содержание дигидрофосфата аммония снижается с 22,88–27,62 до 1,22–15,18 %, а хлорида калия с 2,46–8,97 до 0,47–5,23 %. При этом в составе продукта установлено образование новой фазы – двойной соли дигидрофосфата калия-аммония (до 28,27 %).

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- отсутствует значимый градиент концентраций отдельных компонентов в объеме гранул удобрений, что свидетельствует об оптимальной организации технологического процесса и способа введения азот-, фосфор- и калийсодержащих ингредиентов;

- данные рентгенофазового анализа образцов комплексных удобрений подтверждают протекание конверсионных процессов как на стадии гранулирования и сушки, так и в процессе складского хранения конечной продукции.

В качестве рекомендаций для снижения слеживаемости изучаемых марок комплексных удобрений можно предложить следующее:

- повысить мольное соотношение на стадии аммонизации минеральных кислот;

- увеличить соотношение аммонийной к амидной форме азота, путем введения дополнительного количества NH_4^+ в виде сульфата аммония;

- увеличивать долю гранулированного карбамида в составе удобрения с последующим полным вытеснением приллированного карбамида.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия» по заданию 1.3.

М.В. Дяденко, доц., канд. техн. наук;
В.Г. Лугин, директор Центра ФХМИ, канд. техн. наук;
А.Г. Сидоревич, магистрант (БГТУ, г. Минск)

СТРУКТУРНАЯ РОЛЬ ЖЕЛЕЗА В ЩЕЛОЧНЫХ АЛЮМО- И БОРОСИЛИКАТНЫХ СТЕКЛАХ

Изучение железосодержащих стекол привлекательно с точки зрения получения на их основе эмалевых композиций, облицовочных материалов, а также стекол с особым комплексом магнитных, электрических и оптических свойств.

При добавлении Fe_2O_3 в состав щелочных боро- и алюмосиликатных стекол в зависимости от его общего содержания и распределения между двух- и трехвалентными формами происходит перераспределение ионов щелочных металлов между структурными позициями, что приводит к изменению координационного состояния ионов бора и алюминия, а также степени полимеризации структурной сетки стекла.

Катионы в стеклах способны создавать тетраэдрические координационные группы, когда соотношение радиусов катиона и аниона находится в пределах 0,225–0,414, и октаэдрические группы, когда оно расположено в пределах 0,414–0,645. По убывающей способности образовывать тетраэдрическую координацию в стеклах вышеперечисленные катионы можно расположить в следующей последовательности: $\text{Si}^{4+} \rightarrow \text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{B}^{3+}$.

Целью работы является изучение поведения оксида железа в структуре натриевых боро- и алюмосиликатных стекол.

Условием участия катионов Fe^{3+} в стеклообразовании является соблюдение соотношения $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 1$. При этом ионы Na^+ , обладающие слабым силовым полем, легко отдают анионы кислорода на построение групп $[\text{FeO}_4]$, участвующих в формировании структурной сетки.

Синтез стекол проводился в газовой пламенной печи периодического действия при максимальной температуре 1470 ± 20 °С с выдержкой при ней 1 ч. Отжиг стекол осуществлялся в муфельной печи при температуре 570 ± 5 °С.

По результатам изучения варочно-выработочных свойств установлено, что стекла, включающие 12,5–15,0 мол. % Fe_2O_3 , характеризуются наличием кристаллических включений, свидетельствующих об их склонности к фазовому разделению в процессе выработки. По результатам электронной микроскопии в образцах стекол присутствуют кристаллы игольчатой формы размером порядка 5–15 мкм.

По результатам градиентной кристаллизации установлено, что минимальной склонностью к кристаллизации обладают боросиликат-

ные стекла, включающие до 10 мол.% Fe_2O_3 , и алюмосиликатные стекла, содержащие в своем составе до 7,5 мол.% Fe_2O_3 . При этом боросиликатные стекла, модифицированные Fe_2O_3 , характеризуются большей устойчивостью стеклообразного состояния, чем аналогичные железосодержащие стекла на алюмосиликатной основе.

Склонность указанных материалов к кристаллизации подтверждается данными дифференциально-сканирующей калориметрии. Для боросиликатного стекла с содержанием 15 мол. % Fe_2O_3 наблюдается экзоэффект в интервале 700–800 °С, свидетельствующий об интенсивном характере кристаллизации, и эндоэффект в интервале 840–940 °С, обусловленный, по-видимому, растворением образовавшихся кристаллов. Для алюмосиликатного стекла с содержанием 15 мол. % Fe_2O_3 характерно наличие также экзоэффекта, но в более широком интервале, составляющем 650–800 °С.

Структурное состояние железа в стеклах было изучено методами инфракрасной и рамановской спектроскопии.

В ИК-спектрах всех стекол присутствуют полосы пропускания с максимумами в областях 440–460, 690–710, 775–785, 785–800, 900–1200 и 1350–1400 см^{-1} .

ИК-полосы около 440–460 и 1050–1090 см^{-1} обусловлены деформационными и асимметричными валентными колебаниями связей Si-O-Si в сложных силикатных анионах, и их интенсивность в спектрах определяется долей оксида SiO_2 в составе стекла. Замена SiO_2 на Fe_2O_3 отражается на положении основной полосы поглощения, характерной для тетраэдров $[\text{SiO}_4]$, смещение которой от 1010 до 980 см^{-1} , вероятно, есть следствие деполимеризации кремнекислородных тетраэдров $[\text{SiO}_4]$ и образования связей мостикового типа $\text{Fe}^{+3}-(\text{O-Si})$. Это подтверждает полоса поглощения в области 530–550 см^{-1} , которая относится к связям $\text{Me}^{+3}-(\text{O-Si})$, где трехвалентные ионы находятся в тетраэдрическом окружении по кислороду, а ее частота зависит от расстояния $\text{Me}^{+3}-(\text{O-Si})$.

Полоса в области 760–800 см^{-1} относится к кольцевым мотивам, состоящим из тетраэдров $[\text{SiO}_4]$. С увеличением количества Fe_2O_3 , вводимого взамен SiO_2 , уменьшается доля кольцевых структурных мотивов, состоящих из $[\text{SiO}_4]$ тетраэдров, т.е. наблюдается более глубокая полимеризация структуры стекла. Об этом свидетельствует уменьшение интенсивности полосы в области 760–800 см^{-1} .

Полоса в области 1350–1400 см^{-1} связана с валентными колебаниями связи B-O в составе треугольников $[\text{BO}_3]$, и изменение их интенсивности отражает изменение доли трехкоординированного бора в структуре стекол.

С увеличением содержания оксида железа, вводимого взамен SiO_2

в количестве 2,5–15,0 мол. %, в структуре алюмосиликатных стекол наблюдается аналогичная закономерность. Особенность состоит в менее выраженной полосе поглощения при 530–550 см⁻¹, что указывает на наличие незначительной доли тетраэдрических группировок [FeO₄] в структуре стекла.

В случае рамановской спектроскопии полосы отражения в высокочастотной области (1000–1200 см⁻¹) указывают на степень связности кремнекислородной составляющей структурного каркаса опытных стекол. Данная полоса связана с проявлением валентных колебаний немоستيковых связей Si–O в структурных единицах Q₃, Q₂ и Q₁. Так, полоса при 1060 см⁻¹, точнее ее плечо, характеризует наличие кремнекислородных тетраэдров с 4 мостиковыми атомами кислорода (Q₄), а в области 950–980 см⁻¹ – тетраэдров [SiO₄], в котором присутствует 3 мостиковых атома кислорода (Q₃). Видимо, кремнекислородная составляющая характеризуется незначительным числом структурных разрывов. С повышением содержания оксида железа пик данной полосы смещается в область низких частот до значений 900–920 см⁻¹, что свидетельствует о глубокой деполимеризации кремнекислородной составляющей структурного каркаса и вероятном формировании в структуре стекла тетраэдров Q₂ и Q₁.

Приведенные спектры для алюмосиликатных стекол, содержащих Fe₂O₃ в количестве 2,5–15,0 мол.%, имеют некоторые отличия от подобных для стекол боросиликатных составов. Структура алюмосиликатных стекол при введении Fe₂O₃ в количестве 5 мол. % характеризуется более высокой степенью полимеризации за счет вероятного формирования в структуре стекол тетраэдрических групп [AlO₄] (об этом свидетельствует более выраженная полоса при 1060 см⁻¹). При этом введение оксида железа в количестве 15 мол.% вызывает, на наш взгляд, значительную деполимеризацию структурного каркаса стекла, чем аналогичное введение в стекла боросиликатных составов о чем свидетельствует смещение полосы до значения 880–890 см⁻¹.

Таким образом, изучение ИК-спектров и рамановских спектров боросиликатных и алюмосиликатных стекол показало, что наиболее значимые изменения наблюдаются в области частот 460–530, 780–800 и 1000–1200 см⁻¹, что свидетельствует об изменении координационного состояния железа и степени связности тетраэдров [SiO₄]. При этом формирование железокислородных тетраэдрических групп наиболее осуществимо в стеклах боросиликатных составов.

Е.М. Дятлова, доц., канд. техн. наук;
Р.Ю. Попов, доц., канд. техн. наук;
Н.Н. Гундилович, канд. техн. наук;
А.В. Бука, стажер мл. науч. сотр.;
А.Н. Мариненко, студ. (БГТУ, г. Минск)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ФАЗООБРАЗОВАНИЯ ПРИ СИНТЕЗЕ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МАНГАНИТА ЛАНТАНА И ИТТРИЯ

Интенсивное развитие электроники и приборостроения обусловило необходимость усовершенствования существующих и разработки новых материалов, обладающих заданным комплексом физико-химических и электрофизических свойств. Кроме того, развитие фундаментальной науки и практического материаловедения позволяет открывать все новые области применения существующих материалов.

В последние годы особый интерес проявляется к керамическим и композиционным материалам, сочетающим сегнетоэлектрические, магнитные, полупроводниковые и электрофизические характеристики, которые важны при разработке устройств нового поколения в современной электронной технике. К таким материалам относятся мультиферроики (материалы, обладающие одновременно двумя и более типами «ферро» упорядочения: ферромагнитное, сегнетоэлектрическое и сегнетоэластичность), композиции с колоссальным магнетосопротивлением и радиопоглощающими свойствами. Уникальные электрофизические и магнитные характеристики проявляются при структурных фазовых переходах, которые происходят при изменении температуры, давления в электрических и магнитных полях, а также при изменении концентраций в твердых растворах.

Наиболее перспективными с этой точки зрения являются манганиты, в структуре которых присутствуют катионы марганца с различной степенью окисления, взаимодействие между которыми с участием ионов кислорода обеспечивает перенос зарядов и высокие магниторезистивные свойства. Также значительные перспективы имеют твердые растворы различных манганитов и ферритов.

В работе изучены процессы фазообразования модифицированных манганитов лантана и иттрия, полученных твердофазным спеканием, а также исследованы их структура, физико-химические и электрофизические свойства.

Для синтеза модифицированных манганитов лантана и иттрия использовались следующие компоненты квалификации «химически

чистый» («х.ч.»): оксид иттрия, оксид лантана, оксид марганца (III), оксид марганца (IV). В качестве ионов-модификаторов применялись следующие соединения квалификации «х.ч.»: оксид бария, магния, цинка, железа (II), висмута (III), теллура (IV), кобальта (II). Содержание иона-модификатора варьировалось от 2 до 20 мас. %.

Исходные компоненты подвергались измельчению, затем смешивались согласно рассчитанным данным, полученная смесь обжигалась в электрической камерной печи при температуре 1200 °С с выдержкой при максимальной температуре 2 ч и с выдержкой при температуре 850 °С 1 ч. После обжига спёк измельчался в вибрационной мельнице, полученный порошок керамики смешивался со связкой, в роли которой применялась карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) в количестве 3–5 мас. % для улучшения формовочных свойств. Формование образцов осуществлялось методом полусухого формования на гидравлических прессах при давлении 30–50 МПа. Опытные образцы имели диаметр 12 мм, толщину 2–3 мм. Сформованные образцы направлялись на второй обжиг при температуре 1100–1300 °С с выдержкой при максимальной температуре 1–3 ч.

Изучены физико-химические (водопоглощение, кажущаяся плотность, открытая пористость), электрические (диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, удельное электрическое сопротивление) и магнитные свойства, фазовый состав и структура синтезированных материалов.

Для изучения процессов, происходящих при синтезе керамических материалов на основе исследуемых составов, выполнена дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) исходных сырьевых компонентов и опытных смесей.

Установлены зависимости физико-химических свойств синтезированных манганитов лантана и иттрия от вида и состава сырьевых композиций, количества модификаторов структуры (добавки BaO, Fe₂O₃, MgO, CaO, TeO₂, CoO, ZnO), а также от температуры синтеза.

Установлены закономерности формирования структуры и свойств модифицированных манганитов лантана и иттрия во взаимосвязи с составом сырьевых смесей, природой и количеством модификатора, а также температурно-временными параметрами их синтеза, позволяющая получать материалы с заданным комплексом эксплуатационных характеристик для различных компонентов электронной техники.

На основе результатов рентгенофазового анализа опытных образцов в системе La₂O₃ – Mn₂O₃ основной кристаллической фазой является LaMnO₃, о чем свидетельствуют интенсивные дифракционные максимумы в области угла 2θ – 27–33°. Установлено наличие несте-

хиометрических соединений типа $\text{La}_{2/3}\text{MnO}_3$ и $\text{LaMn}_{3/4}\text{O}_3$, однако их содержание незначительно. Введение добавок BaO и ZnO способствует формированию основной фазы. Определяющее значение на содержание основной фазы оказывает температура обжига, что подтверждается увеличением интенсивности дифракционных максимумов LaMnO_3 с ростом температуры обжига образцов.

Замена трехвалентного атома La двухвалентным атомом другого элемента, приводит к появлению спонтанной намагниченности у кристаллов LaMnO_3 , при этом в некотором интервале концентраций наблюдается появление металлической ферримагнитной фазы. Данные керамические материалы обладают высокими значениями магнетосопротивления и поэтому могут использоваться для получения радиопоглощающих изделий. Полученные керамические материалы на основе модифицированного манганита лантана обладают следующими характеристиками: диэлектрическая проницаемость – 93–108, тангенс угла диэлектрических потерь – 0,060–0,085, удельное объемное электросопротивление – $(0,15–0,93) \cdot 10^6$ Ом·м, предел прочности при сжатии – 6,2–19,8 МПа, водопоглощение – 6,7–33 %, открытая пористость – 26,48–61,28 %, кажущаяся плотность – 2870–3941 кг/м³.

Фазовый состав материалов, синтезированных в системе $\text{Y}_2\text{O}_3 - \text{Mn}_2\text{O}_3$, представлен YMn_2O_5 , MnYO_3 и YMnO_3 . Наибольшая интенсивность дифракционных максимумов YMnO_3 соответствует межплоскостному расстоянию 2,63 Å. Установлено, что фазовый состав и степень совершенства кристаллической структуры материалов определяется режимом синтеза, а также природой и количеством иона-модификатора, введенного в состав сырьевой композиции, что позволяет получать материалы с заданной структурой и физико-химическими свойствами.

Полученные в работе керамические материалы на основе модифицированного манганита иттрия характеризуются следующими характеристиками: диэлектрическая проницаемость – 75–620, тангенс угла диэлектрических потерь – 0,011–0,150, удельное объемное электросопротивление – $(0,008–5,05) \cdot 10^6$ Ом·м, водопоглощение – 1,12–13,8 %, открытая пористость – 4,35–40,7 %, кажущаяся плотность – 2963–4225 кг/м³.

ПОЛУФРИТТОВАННЫЕ ТИТАНСОДЕРЖАЩИЕ ГЛАЗУРИ ДЛЯ КЕРАМОГРАНИТА

Большинство применяемых в настоящее время глушеных глазурей для керамогранита в своем составе содержат цирконийсодержащие составляющие, обеспечивающие им высокую белизну. Вместе с тем стоимость данного сырья на мировом рынке постепенно и очень значительно возрастает. В этой связи перспективным, на наш взгляд, является применение в составе глазури диоксида титана, который характеризуется высоким показателем преломления, составляющим 2,6–2,9. Оксид титана в большинстве случаев при температуре обжига 1200 ± 5 °С, характерной для керамогранита, вызывает кристаллизацию рутила, сообщающему глазурному покрытию окраску светло-желтого цвета.

Получение глазурных покрытий белого цвета при введении TiO_2 возможно при формировании в покрытии кристаллической фазы титаната (сфена) $CaOTiO[SiO_4]$ или других титансодержащих фаз.

Для получения полуфриттованных глазурей для керамогранита нами выбрана сырьевая композиция, включающая фритту и другие сырьевые материалы. Использовалась алюмосиликатная фритта 2/154 – производственный состав фритты ОАО «Керамин», содержание которой варьировалось в интервале 22,5–32,5 мас. %. Применялся также полевой шпат вишевогорский марки ПШС–0,02–21 (Россия) с интервалом содержания 22,5–32,5 мас. %, вводимый в качестве стеклообразователя. Содержание диоксид титана (Россия) варьировалось в интервале 7,5–15,0 мас. %. Постоянными добавками в исследованной сырьевой смеси применялись кварц молотый пылевидный Гомельского горно-обогатительного комбината, глинозем марки NO-105 (Германия), каолин марки АК–Prime (Украина), доломитовая мука марки КОНТР МЗО-1 Витебского ОАО «Доломит», глина огнеупорная «Веско-Гранитик» (Украина), волластонит (Россия). Суммарное содержание постоянных компонентов составляло 40 мас. %. Их соотношение устанавливалось в процессе проводимых исследований.

Сырьевые смеси подвергались мокрому тонкому помолу в шаровой мельнице типа Speedy-2 (Италия) до остатка на сите № 0056 (10085 отв./см^2) в количестве 0,2–0,5 %. Влажность глазурной суспензии составляла 45–50 %, плотность $1820 \pm 20 \text{ кг/м}^3$.

Глазурная суспензия проходила ситовое и магнитное обогащение и наносилась на поверхность высушенного до влагосодержания 1,5–2,0 % керамогранита, а затем обжигалась в газопламенной печи конвейерной линии FMP–2500 в заводских условиях ОАО «Керамин» при температуре 1200 °С и продолжительности 60±2 мин.

Обожженные глазурные покрытия отличались высокой заглушенностью, матовой поверхностью, равномерным разливом и имели белый и бело-желтоватый цвет. Дефекты покрытий отсутствовали.

В синтезированных составах сформировались две основные кристаллические фазы: титанат (сфен) и анортит, что установлено с помощью рентгенофазового анализа, проводимого на дифрактометре фирмы D8 ADVANCE Brucker (Германия).

Белизна покрытий белого цвета находилась в интервале 64–70 %, покрытия были матовыми – значения блеска составляли 11–16 % и определялись с помощью блеско-белизномера ФБ-2 (Россия).

Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) для синтезированных покрытий составлял $(63,9–75,8) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ при значении ТКЛР керамической основы – $76 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$.

Микротвердость покрытий находилась в интервале 7620–7890 МПа, по износостойкости покрытия отвечали 2-й степени. Глазурные покрытия обладали высокой химической стойкостью к раствору № 6 по ГОСТ 27180 при его воздействии в течение 6 ч.

Термостойкость покрытий составляла более 165 °С.

Структура синтезированных глазурей, исследованная с помощью сканирующего микроскопа JEOL JCM–5610 LV (Япония), представлена кристаллами преимущественно призматического габитуса размерами от 1,2 до 10,0 мкм, по разному ориентированными на поверхности огневого зеркала покрытия. Стекловидная фаза составляла не более 25%.

В литературе известно использование диоксида титана для получения глазурных покрытий высокой белизны. Авторами [1] установлена взаимосвязь показателя кислотности расплава, выражаемого формулой $K = (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}_2\text{O}_3) / (\text{RO}(\text{CaO} + \text{MgO}) + \text{R}_2\text{O}(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}))$. Определено, что при $K = 3,5–5$ происходит формирование сфена и обеспечивается белый цвет покрытия. При значении этого коэффициента от 5 до 10 происходит формирование глазурей желтого и кремового цветов. При этом отношение TiO_2/CaO составляет менее 1.

Исследованиями [2] установлено, что для титансодержащих глазурей белое глушение наблюдается в покрытиях, содержащих более 53 мас. % SiO_2 .

Н.М. Бобковой [3] с сотрудниками определено, что в титаносодержащих глазурях при значениях $K = 3,8$ обеспечивается устойчивое желтое глушение, а формирование покрытия белого цвета происходит за счет кристаллизации сфена или сфена и анортита и зависит от количества введенного TiO_2 , которое для покрытий белого цвета составляет 10–15 мол. %.

Все указанное выше касается фриттованных покрытий, обжигаемых при температуре 1000–1070 °С.

Расчет значений коэффициента кислотности для синтезированных нами покрытий белого цвета за счет глушения сфена и анортита показал, что они находятся в интервале 1,98–2,26. Соотношение TiO_2/CaO при этом составляет 0,20–0,38. Содержание SiO_2 в покрытиях белого цвета составляет 36,0–43,0 мас. %, а содержание TiO_2 – 7,5–10,0 мас. %.

Таким образом, полученные нами результаты в большинстве своем не соответствуют выведенным ранее значениям. Причиной данного несоответствия является преимущественное наличие сырьевых компонентов в составе полуфриттованных покрытий для керамогранита и небольшое (22,5–32,5 мас. %) содержания фритты в них, а также более высокая температура обжига глазурей.

Таким образом, вопрос взаимосвязи между химическим составом глазурных шихт и характером выделяющихся кристаллических фаз остается открытым и требует дальнейшего исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние некоторых компонентов на свойства титановых глазурей / П. Г. Паукш и др. // Неорганические стекла, покрытия и материалы: Сб. ст. – Рига: Рижск. политехн. ин-т, 1983. – Вып. 2. – С. 163–169.
2. Азимов И. Разработка и исследование белых титановых и доломитовых эмалей по лессовой керамике: Автореф. дис. «канд. техн. наук»: 05.350 / Ленинградский техн. ин-т. – Л., 1961. – 17 с.
3. Бобкова Н. М., Болобан Л. В., Гайлевич С. А. Фазообразование в титаносодержащих системах, используемых для получения глазурей // Стекло и керамика. – 1997. – № 1. – С. 17–19.

УДК 666.3.016

И.А. Левицкий, проф., д-р техн. наук (БГТУ, г. Минск);
И.И. Жукова, магистр техн. наук; М.В. Комар
(ОАО «Керамин», г. Минск)

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА

Клинкерный кирпич в соответствии с требованиями СТБ 1787 должен обладать морозостойкостью и продукция класса А, предназначенная для кладки фундаментов и стен, кладки и облицовки стен в гидротехнических сооружениях, для тротуаров и отмосток должна обеспечивать морозостойкость не менее 150 циклов. Для изделий класса Б, применяемых для кладки и облицовки стен, зданий и сооружений – не менее 100 циклов. В соответствии с требованиями международных стандартов морозостойкость может составлять не менее 300 циклов.

Испытаниям подвергали клинкерный кирпич, полученный на основе полиминерального сырья Республики Беларусь, включающего глину месторождения «Городное», суглинки месторождения «Фаниполь», гранитоидные отсеvy фракции менее 1 мм. В составе масс использовалась также глина марки БК-0 месторождения «Большая Карповка» (Россия) в количестве 10–15 мас. % [1].

Опытные изделия были получены пластическим методом формования. После сушки они подвергались обжигу при температуре 1150 ± 5 °С при общей продолжительности режима 20 ч, в том числе выдержка при максимальной температуре составила 2,5 ч.

Общая усадка образцов полнотелого кирпича составляла 7,5–7,7 %, в том числе воздушная – 4,1–4,5; а огневая – 2,8–3,2 %. Водопоглощение опытных образцов находилось в пределах 3,9–4,6 %, плотность – 2188–2196 кг/м³. Механическая прочность составляла при сжатии 42,1–42,8 МПа, при изгибе – 4,8–5,3 МПа. Морозостойкость образцов составила 300 циклов по объемному методу замораживания (ГОСТ 7025), а их истираемость находилась в интервале 0,2–0,4 г/см².

Полнотельный кирпич соответствовал марке 400 и отвечал требованиям, предъявляемым к продукции классов А и Б по СТБ 1787.

Исследованные образцы после объемного замораживания не имели изменения цвета, шелушения, выкрашивания, растрескивания, отколов и других дефектов поверхности.

Известно, что причиной разрушения при циклах замораживания–оттаивания являются растягивающие нагрузки на материал клинкерного изделия, возникающие из-за увеличения объема воды при ее охлаждении ниже +4 °С. Практически все увеличение объема примерно до 9 % проис-

ходит при 0 °С из-за структурирования молекул во время образования льда.

После 100 и 300 циклов попеременного замораживания и оттаивания проводилось исследование следующих физико-химических свойств образцов: водопоглощения – по ГОСТ 7025, механической прочности при сжатии и изгибе – по ГОСТ 8462 и истираемости – по СТБ 1160. Образцы, прошедшие 100 и 300 циклов замораживания-оттаивания, подверглись также исследованию химического состава черепка. Кроме того, изучались особенности изменения структуры образцов с помощью сканирующих микроскопов JSM–7800F, и JSM–5610LV (Япония). Химический анализ проводился с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра XRF–1800 на ОАО «Керамин».

Установлено, что при проведении 100 циклов морозостойкости наблюдалось снижение содержания суммы оксидов щелочных металлов Na₂O и K₂O примерно на 20 %, CaO – 20 %. Увеличение продолжительности испытания морозостойкости до 300 циклов привело к снижению суммы оксидов щелочных металлов примерно на 20 %, CaO – на 5 % с соответствующим перераспределением содержания других составляющих. Механическая прочность образцов при сжатии после 100 циклов снижалась на 12,3–14,2 %, при изгибе – на 9,8–12,3 %. Дальнейшее замораживание и оттаивание образцов до 300 циклов привело к более существенному снижению механической прочности. Так, эти значения для прочности при сжатии снизились на 20,6–23,2 %; а при изгибе – на 19,3–21,7 %.

Значения водопоглощения исследованных образцов возросли соответственно после 100 циклов морозостойкости до 5,3–6,2 %, а после 300 циклов – 8,1–11,3 %. Истираемость также увеличилась на 2–3 % и 4–6 % соответственно.

Исследованием микроструктуры образцов, представленной на рисунке, установлены существенные изменения ее пористо-капиллярной и кристаллической структуры вследствие замораживания и оттаивания. Наблюдается увеличение размеров открытых пор при сохранении их щелевидного характера, имеющих расширение и пережимами, размер их составляет 20–150 мкм. Закрытые поры сохранили щелевидное сечение. По-прежнему присутствуют извилистые и ориентированные по направлению кристаллических образований закрытые поры и капилляры. Размеры их также увеличиваются с повышением воздействия циклов замораживания и оттаивания на 5–7 %.

Наблюдаются изменения характера аморфной составляющей, обусловленной ее дроблением на более мелкие участки.

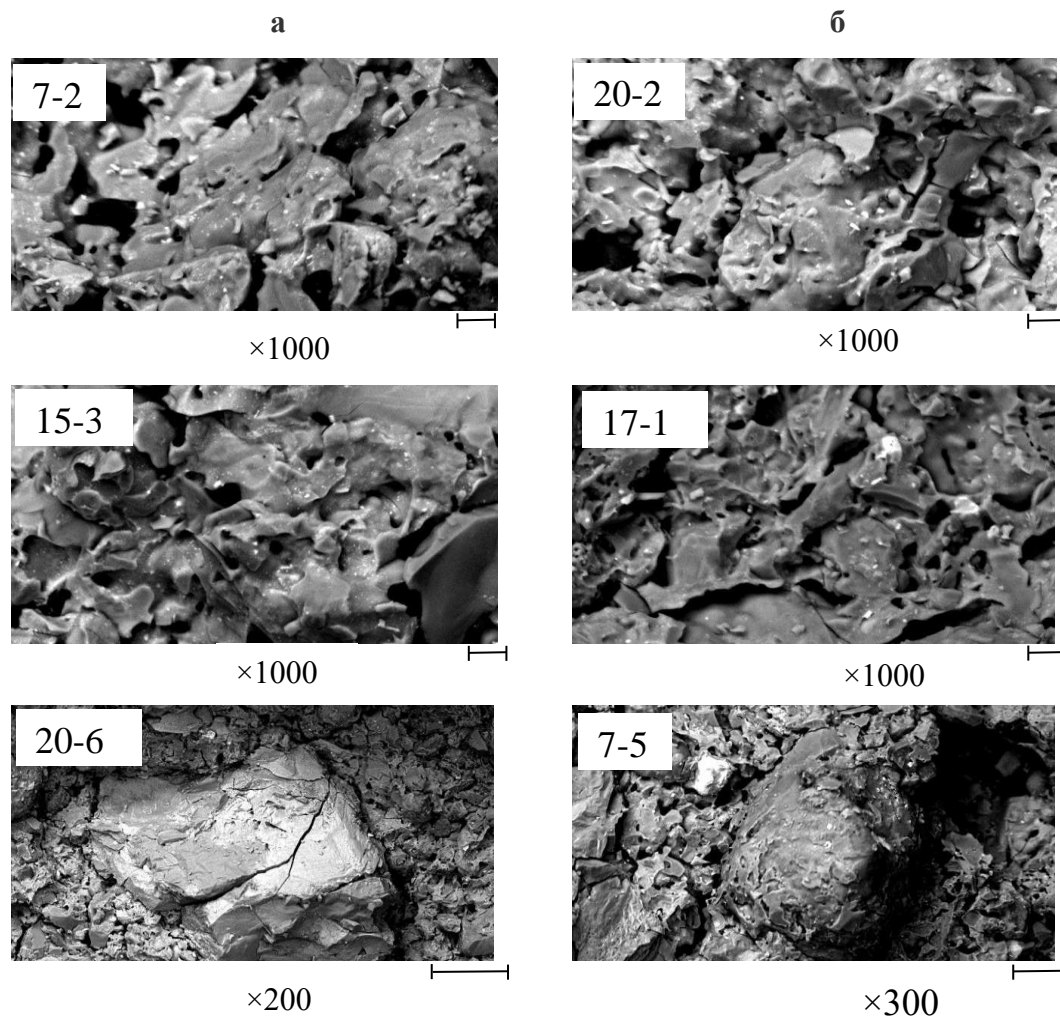


Рисунок – Микроструктура образцов клинкерного кирпича, прошедшего 100 циклов (а) и 300 циклов (б) замораживания и оттаивания

Кристаллические образования при замораживании не претерпевают разрушение и изменение их очертаний. Это особенно заметно для реликтовых зерен кварца, характеризующегося отсутствием спайности. Для анортита и альбита характерно появление трещиноватости по плоскостям спайности. Это же наблюдается и для авгита, геденбергита и эгирина, для которых отмечается наиболее значительное изменение – трещиноватость. В меньшей степени изменения претерпевают кристаллы гематита в связи с их небольшими размерами.

Полученные исследования позволяют судить о влиянии процессов замораживания и оттаивания на изменение свойств и структуры клинкерного кирпича.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левицкий, И.А., Хоружик О.Н. Взаимосвязь свойств, фазового состава и микроструктуры клинкерного кирпича // Стекло и керамика. – 2021. – № 5. – С. 26–33.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ
Fe(II), ОБРАЗУЮЩИХСЯ В СИСТЕМЕ FeSO₄ – H₂SO₄ –
CaCO₃ – H₂O – МОДИФИЦИРУЮЩАЯ ДОБАВКА**

Оксиды и оксигидроксиды железа (III) представляют собой обширный класс соединений, широко используемых в качестве неорганических пигментов, магнитных материалов, катализаторов. Одним из основных путей их получения является окисление соединений железа (II) с образованием частиц, имеющих разную морфологию и кристаллическое строение. В работе [1] показано, что при окислении соединений Fe (II) в водной среде, механизм и кинетика процесса определяется рядом факторов, одним из которых является значение pH. В области $\text{pH} \geq 6$, основной окисляемой формой железа (II) становится гидроксид железа. При $6,5 < \text{pH} < 9,0$ процесс окисления, приводящий к образованию анизотропных частиц лепидокрокита $\gamma\text{-FeOON}$ или гетита $\alpha\text{-FeOON}$, протекает через образование промежуточных соединений – гидроксосолей Fe (II) – Fe (III) общей формулой $[\text{Fe}^{2}_{1-x}\text{Fe}^3_x(\text{OH})_2]^{x+} \cdot [(\text{x/n})\text{A}^{\text{n-}}(\text{m/n})\text{H}_2\text{O}]^{x-}$ (так называемых «зеленых ржавчин»). Научный и практический интерес представляют исследования превращений, протекающих по механизму топохимических реакций в системах, представляющих собой пастообразную смесь продуктов, образующихся при взаимодействии компонентов в системе $\text{FeSO}_4\text{--H}_2\text{SO}_4\text{--CaCO}_3\text{--H}_2\text{O--O}_2$. Ранее показано [2], что продуктами конверсии являются гипс, метастабильные железосодержащие фазы, переходящие при термообработке в CaSO_4 и $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$.

В данной работе исследован процесс окисления соединений железа (II), образующихся в системе $\text{FeSO}_4\text{--H}_2\text{SO}_4\text{--CaCO}_3\text{--H}_2\text{O--O}_2\text{--}$ модифицирующая добавка. Целью применения модификаторов является повышение кроющей способности, цветостойкости, атмосферостойкости пигментного материала, получаемого в указанной системе.

Исходными компонентами служили: технический железный купорос, мас. %: FeSO_4 – 52; $\text{H}_2\text{O}_{\text{общ}}$ – 46,97; H_2SO_4 – 0,98; н.о. – 0,05 и мел: CaCO_3 – 90; MgCO_3 – 1,68; $\text{H}_2\text{O}_{\text{общ}}$ – 7,83; н.о. – 0,49; модифицирующие добавки: фосфорная, борная кислоты, сульфат алюминия. Соотношение между компонентами представлено в таблице, согласно которой содержание модифицирующей добавки, воды во всех приготовленных образцах было одинаковым.

Таблица – Состав реакционной смеси при конверсии железного купороса

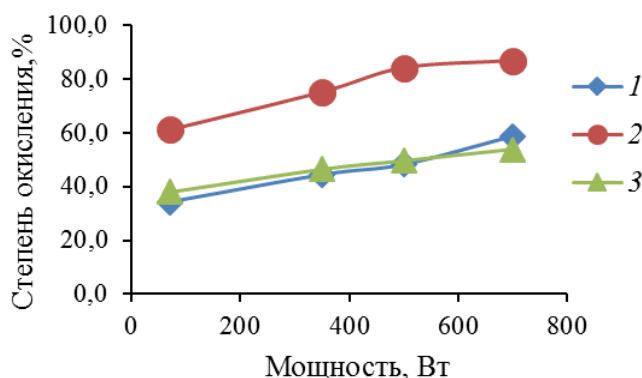
№ образца	Массовое соотношение компонентов			Общее содержание воды в реакционной смеси, мас. %
	CaCO ₃ :FeSO ₄	CaCO ₃ :H ₂ O _(внос)	M:FeSO ₄	
1	0,71:1	1,05:1	0,02:1	48,0
2	0,71:1	1,05:1	0,02:1	48,0
3	0,73:1	1:1	0,02:1	48,0
4	0,73:1	1:1	–	48,0

Примечание: 1, 2, 3 – образцы, модифицированные фосфорной кислотой, сульфатом алюминия, борной кислотой; 4 – не модифицированный; M – модификатор

Смешение сырьевых компонентов осуществляли в лабораторном блендере в течение 20 минут. При этом было отмечено заметное отличие в цвете образующихся пастообразных продуктов, полученных с использованием H₃PO₄, Al₂(SO₄)₃ и H₃BO₃: грязно-черный цвет характерен для реакционных смесей, в которые вносили фосфорную, борную кислоты; грязно-серый цвет – для алюмосодержащих продуктов. Независимо от типа модификатора, pH среды во всех образцах составлял ~6,0.

Окисление соединений Fe (II), образующихся при конверсии FeSO₄, проводили в СВЧ при мощности 70, 350, 500 и 700 Вт и различной продолжительности. Пастообразные продукты конверсии сначала подвергали микроволновой обработке при 70 Вт в течении 2-2,5 часов до полного удаления свободной воды. Образовавшийся продукт представлял собой твердые конгломераты, которые измельчали в планетарной мельнице до порошкообразного состояния. Последующую обработку в СВЧ проводили последовательно при 350, 500 и 700 Вт. На рисунке 1 показано изменение степени окисления соединений Fe (II) в исследуемых образцах №1-3 в зависимости от мощности излучения и типа модификатора. Продолжительность микроволновой обработки во всех случаях составляла 30 минут. Из анализа экспериментальных данных следует, что несмотря на одинаковые условия окисления содержание соединений железа (II) в образцах с различными модификаторами заметно отличается уже после обработки в СВЧ при 70 Вт. Так, степень окисления соединений Fe (II) в алюминийсодержащем образце после обработки при 70 Вт достигает 61,18 %. В то же время, бор- и фосфорсодержащие образцы отличаются сравнительно низкой степенью окисления (34 и 38 %, соответственно) и, следовательно, более высоким содержанием соединений железа (II) (15,35 и 13,62 мас.%). Согласно экспериментальным данным, повышение мощности излучения сопровождается резким снижением содержания соединений железа (II) в алюминийсодержащем образце и повышением содержания железа (III). Для других образцов, модифицированных фосфорной и

борной кислотой, влияние повышения мощности излучения на процесс окисления не столь существенно (рисунок 1).



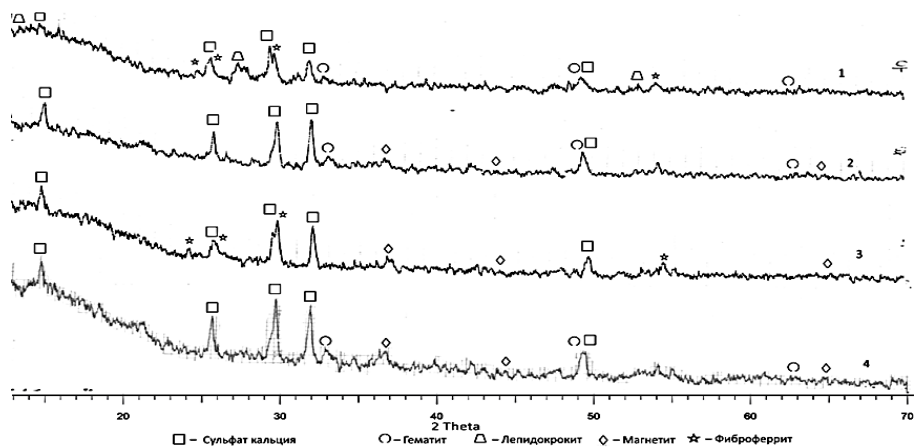
Образцы, модифицированные фосфорной кислотой (1), сульфатом алюминия (2), борной кислотой (3)

Рисунок 1 – Зависимость степени окисления образцов от мощности микроволновой обработки

Исходя из полученных данных продолжительность микроволновой обработки при мощности излучения 700 Вт по-разному влияет на процесс окисления соединений железа (II) в исследуемых образцах. Содержание соединений железа (II) в борсодержащем образце остается постоянным при увеличении обработки от 0,5 до 3,0 часов, в то время как в фосфорсодержащем образце содержание Fe (II), в пересчете на FeO, уменьшается с 8,75 до 2,58 мас. %, а в алюминийсодержащем – с 2,30 до 0,70 мас. %.

Согласно [1], образование промежуточных фаз при окислении соединений Fe (II) может проходить двумя параллельными путями: по механизму «растворение – окисление – осаждение», и путем роста частиц из агрегатов гидросолей Fe(II) – Fe(III) в результате протекания твердофазного окисления. Исходя из этого, можно полагать, что процесс окисления соединений Fe(II) в исследуемых образцах носит, преимущественно, твердофазный характер, скорость которого лимитируется диффузией кислорода к поверхности твердой фазы.

Рентгенофазовый анализ образцов (рис.2), полученных при микроволновой обработке в течении 3,0 часа при 700 Вт, показал наличие в них безводного сульфата кальция и плохо окристаллизованных железосодержащих фаз, среди которых проявляются гематит (α -Fe₂O₃), фиброферрит (Fe₂O₃·0,42SO₃·2,05H₂O), лепидокроцит (γ -FeOOH), а также ряд малоинтенсивных пиков, которые скорее всего можно отнести к сложным по анионному составу основным солям железа.



Образцы, модифицированные фосфорной кислотой (1), сульфатом алюминия (2), борной кислотой (3); не модифицированный (4)
Рисунок 2 – Рентгенограммы образцов, полученных микроволновой обработкой при 700 Вт

Наиболее четко проявляются на рентгенограмме алюминийсодержащего образца пики с $d = 2,6770, 1,8275, 1,4781$, характерные для (α - Fe_2O_3), менее отчетливо на рентгенограмме фосфорсодержащего образца. Для борсодержащих образцов образование гематита при заданных условиях рентгенографически не обнаруживается.

Таким образом, проведенное исследование показало, что степень окисления соединений железа (II) зависит от типа модифицирующей добавки в системе $\text{FeSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-CaCO}_3\text{-H}_2\text{O-O}_2$. Отмечено ускоряющее действие $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ на процесс окисления соединений Fe (II) в 2,0 – 2,5 раза по сравнению с H_3PO_4 и H_3BO_3 . Установлено образование и формирование фазы гематита в алюмо-, фосфорсодержащих образцах уже на стадии микроволновой обработки исследуемых образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов В.В., Горбунов А.И., Левина Е.Ф. Закономерности образования нанокристаллических частиц оксигидроксидов железа (III) при окислении соединений железа (II) в нейтральной среде. / Журнал неорганической химии. – 2010. – Т. 55 № 7. – С. 1063-1069.

2. Получение железокальцийсодержащих пигментных материалов для окрашивания строительных изделий / Л.С. Ещенко и др. // Инновационные силикатные и тугоплавкие неметаллические материалы и изделия: свойства, строение, способы получения: материалы Межд. науч.-техн. конф., Минск, 3 декабря 2020 г. – Минск: БГТУ, 2020. – С. 279-284.

С.Е. Баранцева, доц., канд. техн. наук;
Ю.А. Климош, доц., канд. техн. наук;
Н.Н. Гундилович, ассист., канд. техн. наук;
Р.Ю. Попов, доц., канд. техн. наук;
И.М. Азаренко, мл. научн. сотр.;
М.А. Курилович, студ. (БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛАУКОНИТСОДЕРЖАЩИХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД НОВОДВОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Республика Беларусь обладает хорошим ресурсным потенциалом, который еще недостаточно широко используется, поэтому необходимо постоянно проводить работу по привлечению инвестиций в геологическое изучение наших недр и разработку месторождений полезных ископаемых.

При разработке месторождений полезных ископаемых необходим комплексный подход, заключающийся в максимальном использовании не только их основных составляющих, но и вскрышных пород, которые по своему составу являются ценным сырьевым источником и могут найти применение в производстве строительных материалов. Это позволит расширить минерально-сырьевую базу силикатной промышленности Республики Беларусь и повысить экономическую эффективность разработки месторождений базальта и мела.

Глауконитсодержащие осадочные вскрышные породы Новодворского месторождения базальтов и туфов Республики Беларусь являются попутными полезными ископаемыми, представленными песками кварцевыми и полевошпат-кварцевыми четвертичного возраста, песками кварцевыми и глауконит-кварцевыми алевритами палеогенового возраста [1]. Они залегают в трех горизонтах общей мощностью 28 м, что эквивалентно 45 млн. м³; близки по химическому составу (SiO₂ 69,01–74,85; Al₂O₃ 6,49–10,74; FeO 11,65–12,06; MgO 1,10–1,56; CaO 0,44–0,86; K₂O 1,47–1,76; MnO 0,19–0,28; CuO 1,39–2,18; TiO₂ 0,53–0,77; Ag₂O 0,25–0,33; SO₃ 1,02–1,14 мас.%), поэтому целесообразно использовать валовую породу, исключаящую необходимость селективной выработки отдельно по горизонтам.

На основании изучения возможности использования вскрышных пород для получения теплоизоляционных пористых керамических материалов подтверждена целесообразность их применения в составе сырьевых композиций, в рецептуре которых основным компонентом является валовая глауконитсодержащая порода. В качестве дополнительных со-

ставляющих используются пластификатор – легкоплавкая глина, плавленый – базальт и порообразователь – карбид кремния. Рациональное сочетание указанных компонентов обеспечивает необходимую формовочную способность керамических масс и комплекс физико-химических свойств гранулированного материала (насыпную плотность, теплопроводность, морозостойкость), которые соответствуют требованиям нормативно-технической документации.

Результаты экспериментальных исследований по изучению возможности применения глауконитсодержащей породы для получения керамического кирпича показали, что указанное сырье является перспективным компонентом керамических масс и позволяет получить образцы изделий, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к керамическому кирпичу. Сырьевые смеси, содержащие 20–40% валовой пробы глауконитсодержащей породы, обладают необходимыми формовочными свойствами, достаточной связующей способностью. Установлено, что введение породы позволяет равноценно заменить применяемые в настоящее время отошающие компоненты – кварцевый песок и гранитоидные отсеvy.

Использование глауконитсодержащей вскрышной породы в качестве сырьевого компонента для производства плиток керамических для внутренней облицовки стен показало, что полученные образцы соответствуют требованиям ГОСТ 13996–2019, что подтвердило возможность применения глауконитсодержащей породы в сырьевых композициях в количестве до 40 %. Рекомендуемая оптимальная температура утильного обжига составляет 1050–1010 °С, при которой достигаются необходимая степень спекания материала и требуемые показатели физико-химических свойств, при этом цветовые характеристики черепка практически не изменяются.

Подтверждена целесообразность использования глауконитсодержащей вскрышной породы в качестве компонента сырьевой композиции для получения кордиеритсодержащей термостойкой керамики и установлено, что ее введение до 40 мас.% не вызывает ухудшения показателей температурного коэффициента линейного расширения и термостойкости.

На рисунке представлены фотографии лабораторных образцов керамических материалов с использованием глауконитсодержащей вскрышной породы Новодворского месторождения. Полученные керамические материалы отличаются рациональным составом сырьевых композиций, не содержат дефицитных и дорогостоящих компонентов, экологически безопасны и обладают достаточно высокими показателями физико-химических свойств.

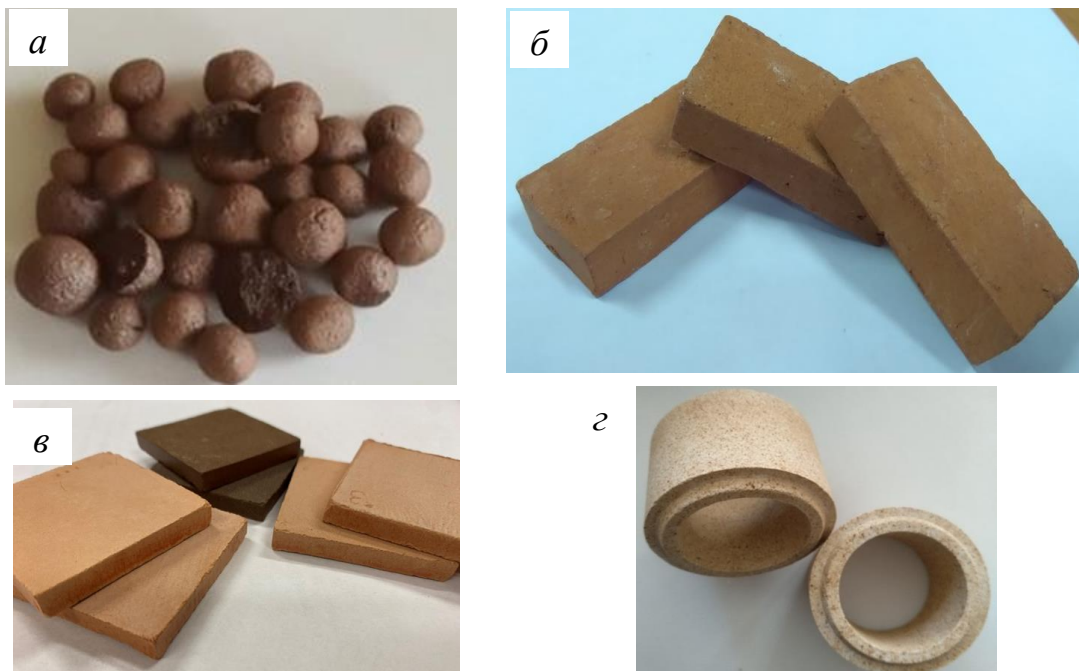


Рисунок – Лабораторные образцы пористого заполнителя (а), керамического кирпича (б), керамической плитки для внутренней облицовки стен (в) и термостойкой керамики (г)

Содержание глауконитсодержащей вскрышной породы в сырьевых композициях разработанных материалов составляет, мас. %: теплоизоляционный пористый материал – 70–80; керамический кирпич – 20–40; керамическая плитка для внутренней облицовки стен – 25–40; термостойкая керамика – 35–40.

Таким образом, попутные полезные ископаемые Новодворского месторождения – глауконитсодержащие пески, алевриты и алевролиты являются приемлемым белорусским сырьем для получения керамических материалов, что внесет определенный вклад в расширение материально-сырьевой базы силикатной промышленности республики и будет способствовать уменьшению экологической напряженности прилегающего к месторождению региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глауконитсодержащие породы поискового участка Пинский (Беларусь) / О.Ф. Кузьменкова [и др.] // Геология и минерально-сырьевые ресурсы запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования. – Минск: СтройМедиаПроект, 2017. – С. 172–176.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФТОРА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ОРТОФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ

Ведущим производителем комплексных удобрений в Республике Беларусь является ОАО «Гомельский химический завод». Основной проблемой в производстве комплексных удобрений в стране является отсутствие собственной сырьевой базы. В связи с этим технология производства на предприятии изначально разрабатывалась под использование Кировского апатитового концентрата, поставляемого в настоящее время российской компанией «Фосагро». ОАО «Гомельский химический завод» ежегодно завозил из России более 200 тыс. т апатитового концентрата и более 100 тыс. т фосфоритной муки. Для ритмичной работы завода требуется поставка апатитового концентрата в объеме порядка 40 тыс. т в месяц. Однако запасы данного месторождения истощаются, поэтому начиная с 2005 года, у предприятия обостряются проблемы, связанные с непрерывным удорожанием фосфатного сырья и сложностями в обеспечении его поставок. Это обусловлено, во-первых, существенным снижением качества перерабатываемой руды, а, во-вторых, отсутствием возможности открытия новых месторождений нефелин-apatитовых руд на доступных горизонтах в Хибинах.

В 2021 году российские поставщики фосфатного сырья окончательно заканчивают поставки апатитовых концентратов на белорусское предприятие за исключением незначительных количеств по контрактным обязательствам. Все это позволяет сделать вывод, что на современном этапе становится необходимым расширение фосфатно-сырьевой базы путем вовлечения в переработку фосфатов новых месторождений, что и является одной из актуальных задач белорусских предприятий, производящих минеральные удобрения.

Как показал опыт ОАО «Гомельский химический завод», переход на иные источники сырья не является чисто технической процедурой, а связан с существенными технологическими трудностями, обусловленными наличием в них значительного количества примесей, в частности, соединений оксидов полуторных металлов и магния, а также кислото-растворимых силикатных минералов, что сильно влияют как на реологические свойства образующихся суспензий, так и на основные технологические показатели разложения фосфатного сырья. Не менее актуальной задачей является сохранение потребительских характеристик товарной продукции. Поэтому необходимо уделить особое внимание исследова-

нию распределения фтора и других компонентов в производстве экстракционной фосфорной кислоты из различных видов фосфатного сырья, результаты которого представлены в таблицах 1 и 2. По данным таблиц 1, 2 можно рассчитать соотношения F / P_2O_5 для каждого объекта и определить с учетом коэффициента выхода каким образом F распределяется в системе. Так для гипса F / P_2O_5 составляет 0,096 или в гипсе содержится 3,33 масс. % фтора от его первоначального количества. Для экстракционной фосфорной кислоты F / P_2O_5 составляет 0,05, что говорит о содержании 40,88 масс. % фтора в кислоте от его первоначального количества. А для упаренной фосфорной кислоты 0,014 и 11,45 масс. % соответственно. Следовательно, на стадии экстракции в газовую фазу переходит 55,79 масс. %, а на стадии выпарки – 29,49 масс. %, при разложении смеси 1. При расчете аналогичных показателей для смеси 2 получаются следующие значения:

- для гипса F/P_2O_5 0,31;
- для экстракционной фосфорной кислоты F / P_2O_5 0,064;
- для упаренной экстракционной фосфорной кислоты F / P_2O_5 0,027;
- 11,4 масс. % фтора от исходного количества переходит в гипс;
- 63,95 масс. % фтора от исходного количества переходит в ЭФК;
- 24,65 масс. % фтора от исходного количества переходит в газовую фазу на стадии разложения;
- 26,98 масс. % фтора от исходного количества переходит в УЭФК;
- 36,97 масс. % фтора от исходного количества переходит в газовую фазу на стадии выпарки.

Как показывают результаты обследований с повышением доли фосфоритов в смеси в газовую фазу переходит меньшее количество фтора, а в целевом продукте и в гипсе содержание фтора возрастает.

При определении долей фтора в различных компонентах системы при разложении фосфоритов Марокко марки К-9 получаем следующие значения:

- для гипса F / P_2O_5 0,22;
- для экстракционной фосфорной кислоты F / P_2O_5 0,1138;
- для упаренной экстракционной фосфорной кислоты F / P_2O_5 0,0321;
- 9,19 масс. % фтора от исходного количества переходит в гипс;
- 90,6 масс. % фтора от исходного количества переходит в ЭФК;
- 0,21 масс. % фтора от исходного количества переходит в газовую фазу на стадии разложения;
- 25,56 масс. % фтора от исходного количества переходит в УЭФК;
- 65,04 масс. % фтора от исходного количества переходит в газовую фазу на стадии выпарки.

Таблица 1 – Анализ экстракционной фосфорной кислоты, образующейся при разложении различных источников фосфатного сырья

Вид фосфатного сырья	Плотность, г/см ³	Содержание, масс. %										
		P ₂ O ₅	F	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	Cl	Орган. в-ва
Кировский апатитовый концентрат + алжирские фосфориты (1 : 1)	1,295	26,77	1,72	-	-	-	0,59	-	-	-	-	0,0027
Ковдорский апатит + казахстанская фосфоритная мука (4 : 1)	1,290	25,16	1,22	2,37	0,33	0,24	1,26	0,054	0,168	1,11	0,0167	0,014
Фосфориты Марокко марки К-9	1,278	24,16	3,09	-	0,17	0,32	0,10	0,064	0,280	-	-	0,016
Фосфориты Марокко марки К-10	1,273	24,04	1,95	2,23	0,22	0,41	0,11	0,084	0,130	0,80	0,0170	0,020
Сирийские фосфориты	1,254	24,70	1,69	1,91	0,14	0,12	0,42	-	-	-	-	-

Таблица 2 – Анализ упаренной экстракционной фосфорной кислоты, полученной из различных источников фосфатного сырья

Вид фосфатного сырья	Плотность, г/см ³	Содержание, масс. %										
		P ₂ O ₅	F	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	Cl	Орган. в-ва
Кировский апатитовый концентрат + алжирские фосфориты (1 : 1)	1,653	49,71	1,35	-	-	-	1,14	0,15	0,43	-	-	0,0035
Ковдорский апатит + казахстанская фосфоритная мука (4 : 1)	1,701	49,50	0,68	5,26	0,52	0,44	2,22	0,095	0,315	0,41	0,0027	0,015
Фосфориты Марокко марки К-9	1,680	50,08	2,09	5,14	0,33	0,81	0,85	0,087	0,380	0,41	0,0018	0,020
Фосфориты Марокко марки К-10	1,666	49,75	1,32	4,60	0,42	0,75	0,66	0,059	0,37	0,33	0,0020	0,030
Сирийские фосфориты	1,621	50,11	0,73	3,72	0,38	0,40	0,83	-	-	-	-	-

При определении долей фтора в различных компонентах системы при разложении фосфоритов Марокко марки К-10 получаем следующие значения:

- для гипса F / P_2O_5 0,442;
- для экстракционной фосфорной кислоты F / P_2O_5 0,075;
- для упаренной экстракционной фосфорной кислоты F / P_2O_5 0,0264;
- 27,39 масс. % фтора от исходного количества переходит в гипс;
- 65,77 масс. % фтора от исходного количества переходит в ЭФК
- 6,84 масс. % фтора от исходного количества переходит в газовую фазу на стадии разложения;
- 18,28 масс. % фтора от исходного количества переходит в УЭФК;
- 47,49 масс. % фтора от исходного количества переходит в газовую фазу на стадии выпарки.

При определении долей фтора в различных компонентах системы при разложении сирийских фосфоритов используем данные таблиц 1-2 и получаем следующие значения:

- для гипса F / P_2O_5 0,463;
- для экстракционной фосфорной кислоты F / P_2O_5 0,068;
- для упаренной экстракционной фосфорной кислоты F / P_2O_5 0,0146;
- 19,1 масс. % фтора от исходного количества переходит в гипс;
- 60,81 масс. % фтора от исходного количества переходит в ЭФК;
- 20,09 масс. % фтора от исходного количества переходит в газовую фазу на стадии разложения;
- 13,06 масс. % фтора от исходного количества переходит в УЭФК;
- 47,75 масс. % фтора от исходного количества переходит в газовую фазу на стадии выпарки.

Таким образом, выполненный цикл исследований позволил получить новые научные данные о распределении фтора в системе, образующейся при разложении различных видов фосфатного сырья, между твердой, жидкой и газообразной фазой в производстве экстракционной фосфорной кислоты. Предложена новая методика оценки распределения фтора между отдельными фазами и стадиями технологического процесса получения ЭФК, основанная на расчете и анализе соотношения F / P_2O_5 для каждого объекта (фазы или стадии). Использование иных видов фосфатного сырья, а также комбинация различных их видов приводит к перераспределению как распределения фтора между отдельными фазами, так и к изменению количества фтора, выделяющегося по стадиям.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия» по заданию 1.3.

УДК 666.117.9:552.6

Е.С. Сергиенко, доц., канд. физ.-мат. наук;
С.Ю. Янсон, зам. директора РЦ ММ, канд. геол.-минер. наук
(СПбГУ, г. Санкт-Петербург);
И.А. Левицкий, проф., д-р техн. наук;
Л.Ф. Папко, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ПОЛУЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ АНАЛОГОВ ИМПАКТНЫХ СТЕКОЛ

Образование импактных стекол происходит при соударении Земли и малого космического тела (астероида, кометы). Процесс порообразования включает дробление, плавление и испарение вещества, последующую конденсацию пара, кристаллизацию расплава, перемещение и отложение продуктов дробления. Из импактного расплава в зависимости от скорости охлаждения образуются стекла или разнообразные по степени кристалличности, пористости и другим характеристикам породы. Высокая скорость данных процессов, протекающих при высоких температурах и давлениях, делают весьма сложной задачей воспроизведение ударного метаморфизма в лабораторных условиях [1].

Тем не менее экспериментальное моделирование импактных расплавов представляет интерес как в отношении изучения технологических особенностей получения стекол на основе горных пород, имеющих широкую область применения, так и в связи с важностью проблемы построения сценариев импактных событий и изучения пород земных астроблем [1, 2].

Цель настоящей работы – получение искусственных аналогов импактных стекол путем плавления пород мишени астроблемы с использованием высокотемпературных печей.

В качестве исходного материала для получения искусственных аналогов выбраны породы цокольного комплекса импактного кратера Жаманшин (Казахстан). В кратере присутствует целый ряд импактных стекол — от «тектитоподобных» (микроиргизиты и иргизиты) до импактных расплавов, как массивных (тагамиты), так и бомб (жаманшиниты), а также зювитов [3].

Для исследования использовались образцы пород астроблемы Жаманшин фракций 2–4 мм и < 1 мм. При получении расплавов варьировался состав исходной шихты. Плавление проб проводилось в газовой пламенной печи при максимальной температуре 1515 ± 5 °С с выдержкой 0,5 ч. Апробировались различные условия охлаждения: мокрая грануляция, при которой длительность охлаждения составляла ~1 с; отлив-

ка на чугунную плиту (длительность охлаждения $\sim 10^2$ с); охлаждение в тигле (длительность $\sim 10^3$ с); охлаждение в печи (длительность $\sim 10^6$ с).

Температуры, доступные для проведения наших экспериментов (до 1515 °С), не воспроизводят условия, возникающие при импактном событии. Однако они охватывают важнейший температурный интервал, в котором происходят процессы стеклования и кристаллизации.

Анализ химического и структурно-фазового состава образцов проводился с использованием следующего оборудования Научного парка СПбГУ: энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра EDX-800P (Shimadzu, Japan); дифрактометра Bruker "D2 Phaser" (Bruker, Germany); стереомикроскопа Leica205 M (Leica, Germany); сканирующего электронного микроскопа с системой энергоспектрального микроанализа QUANTA 200 3D (FEI, Netherlands); растрового электронного микроскопа-микроанализатора ТМ 3000 (НИТАСНИ, Japan).

Фазовый состав сланцев включает, мас. %: кварц 38,2; плагиоклаз 24,6; мусковит 8,1; хлорит 8,5; эпидот 9,0; микроклин 2,4. Породы вулканогенно-осадочного комплекса содержат, мас. %: кварц 14,3; плагиоклаз 37,9; мусковит 10,9; хлорит 4,0; эпидот 28,4; гематит 4,5.

Искусственные стекла сравнивались по структурно-фазовому и химическому составу с природными импактными стеклами Жаманшина — иргизитами, массивными расплавами — тагамитами.

При плавлении вулканогенно-осадочных пород получен однородный расплав с пониженной вязкостью. Образцы, полученные при быстром охлаждении, рентгеноаморфны. На поверхности образцов образуется окрашенная пленка. Микроминералогические исследования показали, что пленка представлена оксидами и гидроксидами железа. При стекловании расплава за счет уменьшения объема возникают скрытые трещины, в которых начинается скелетный рост минералов. При длительном охлаждении расплава в печи появляются вершинно-ребристые и полногранные формы кристаллитов.

При плавлении сланцев крупной фракции (> 2 мм) получена остеклованная масса, содержащая включения кварца, кристобалита, при длительном охлаждении также и магнетита. При использовании сланцевой шихты фракции < 1 мм происходит полное расплавление, при охлаждении в воде получены каплеобразные образцы стекла, по форме напоминающие иргизиты.

В случае частично расплавленной кристаллических сланцев с сохранившимися реликтами SiO_2 при длительном охлаждении в печи кристаллизация происходит на поверхности и во внутреннем объеме. Реликтовые зерна SiO_2 служат поверхностью для роста микродрузовых агрегатов кварца при длительном охлаждении расплава. Выделя-

ются также скелетные агрегаты оксидов железа.

Содержание основных элементов определялось методами рентгенофлуоресцентного анализа и электронного микроанализа. Установлено, что химический состав полученных искусственных стекол находится в хорошем соответствии с составом импактных расплавов астроблемы Жаманшин. Природные стекла не импактного генезиса значительно отличаются по составу от искусственных образцов. Этот факт доказывает правомерность примененной методики создания аналогов импактитов.

Самые быстро застывающие образцы из вулканогенно-осадочной породы и кристаллического сланца соответствуют по составу микроиргизитам. Это может свидетельствовать о характере возникновения микроиргизитов и основном их материальном источнике – породе кристаллического фундамента мишени Жаманшина.

Для образцов, полученных при больших скоростях охлаждения, имеется различие в распределении содержания основных элементов для вулканогенно-осадочной породы и кристаллического сланца. Сланцевые искусственные стекла близки по составам к иргизитам и микроиргизитам.

Таким образом, предложена методика получения аналогов импактных расплавов в высокотемпературной печи при варьировании состава исходной шихты, включающей различные породы астроблемы Жаманшин, и условий охлаждения расплава. Результаты исследования химического и структурно-фазового состава искусственных стекол, полученных из пород, показали хорошее соответствие Жаманшинским импактным расплавам. Природные стекла не импактного генезиса значительно отличаются по составу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экспериментальная и техническая петрология / А.М. Батанова и др. – М.: Научный мир, 2000 г. 416 с.
2. Импактные стекла. Первые эксперименты по физическому моделированию / Е. С. Сергиенко и др. // Интеграция и развитие научно-технического и образовательного сотрудничества – взгляд в будущее: сборник статей II Межд. научно-техн. конф. "Минские научные чтения - 2019", Минск, 11-12 декабря 2019 г. Т. 2. – Минск : БГТУ, 2020. – С. 179-182.
3. Флоренский П.В. Метеоритный кратер Жаманшин. – М.: Наука, 1980. – 125 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ БЕЛАРУСИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЛИТОК ДЛЯ ВНУТРЕННЕЙ ОБЛИЦОВКИ СТЕН

Одной из задач производства плиток для внутренней облицовки стен является снижение себестоимости продукции за счет использования местного минерального сырья Республики Беларусь при сохранении требуемого качества изготавливаемых изделий.

В исследовании выбрана многокомпонентная композиция исходного сырья, обеспечивающая возможность регулирования свойств керамического черепка в зависимости от качественных характеристик исходных материалов.

В составе керамической массы использовались следующие сырьевые материалы, вводимые в пределах, мас. %: суглинки месторождения «Фаниполь» Минской области – 20–30; глина легкоплавкая месторождения «Ново-Лукомль» Витебской области – 22–28; гранитоидные отсеvy – 14–20, образующиеся при дроблении горных пород в РУП «Гранит» г.п. Микашевичи. Постоянными составляющими в исследованной сырьевой смеси являлись глина легкоплавкая месторождения «Гайдуковка» Минской области; доломитовые отсеvy месторождения «Руба» Витебской области; кварцевый песок марки ВС-050-1 Гомельского горно-обогатительного комбината, а также каолин-сырец марки КЗ-1 (Украина). Общее содержание постоянных добавок составляло 34 мас. % при установленном в работе соотношении компонентов в зависимости от состава применяемого сырья и наличия свободного кварца.

Приготовление керамических шликеров осуществлялось мокрым помолом составляющих при влажности суспензии 36–40 % в лабораторной шаровой мельнице «Speedy» (Италия) до остатка на сите № 0056 (10085 отв./см²) в количестве 1,2–1,5 %. После помола шликер обезвоживался сушкой в сушильном шкафу при температуре 115±2 °С с последующим измельчением и рассевом на ситах. В исследовании обеспечивался гранулометрический состав порошков, характеризующийся следующим размером зерен (мм) и содержанием фракций (мас. %): менее 0,125 – 5; (0,25–0,125) – 55; более 0,5 – 3. Полученные порошки смешивались и увлажнялись, после чего вылеживались в течение 3-х суток для усреднения влажности.

Образцы плиток изготавливались полусухим двухступенчатым

прессованием в металлические формы при давлении 12 и 20 МПа соответственно для 1-ой и 2-ой ступени. Далее образцы высушивались в сушильном шкафу до влагосодержания не более 2 % при температуре 150 ± 2 °С. Утильный обжиг образцов производился в промышленной конвейерной печи типа FMS-2850 при температуре 1120 ± 3 °С в течении 53 ± 2 мин в ОАО «Керамин».

Полученные плитки имели окраску от пастельно-оранжевого до светло-коричневого цвета и характеризовались отсутствием дефектов.

Общая усадка полученных образцов составляла 2,7–5,2 %, их водопоглощение находилось в интервале 17–20 %.

Кажущаяся плотность плиток составляла 1720–1830 кг/м³, а открытая пористость – от 33,6 до 37,4 %.

Температурный коэффициент линейного расширения образцов составил $(66,2–69,5) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ в интервале температур 20–400 °С.

Проведенные расчеты химического состава синтезированных масс позволили установить область оптимальных составов. Определено, что содержание Al_2O_3 в этих составах должно находиться в интервале 17,4 – 18,2 мас. %, а соотношение $\text{RO}(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{R}_2\text{O}$ ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$) – в пределах 3,3–3,4. Количество SiO_2 при этом составляло 61,6–63,2, а оксидов железа – 4,5–4,9 мас. %.

С помощью рентгенофазового анализа на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE фирмы Bruker (Германия) определено наличие в образцах кристаллических фаз α -кварца ($\alpha\text{-SiO}_2$), анортита ($\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$) и небольших количеств альбита ($\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$).

Электронно-микроскопическим исследованием с помощью сканирующего микроскопа JEOL JCM–5610 LV (Япония) определено, что в образцах присутствует преимущественно аморфизированное вещество с наличием в нем кристаллических образований. Их форма близка к призматической с размерами образований от 0,1 до 3,5 мкм по длине, а ширина их составляет 0,1–1,5 мкм. Имеются прослойки стекловидной фазы, что позволяет предполагать, что рост кристаллов происходил из жидкой фазы, формирующейся при обжиге материала. В структуре образца установлено наличие кристаллов α -кварца преимущественно изометрического габитуса, размер их составляет 0,2–1,4 мкм. Присутствуют кристаллы, близкие по форме к призматическим, характерной анортиту. Размеры этих образований составляют по длине от 3 до 16 мкм, по ширине от 0,5 до 10 мкм.

Поры в образце преимущественно закрытые, тупиковые, нередко вытянутые с пережимами и расширениями. Имеются также поры округлые, извилистые и неправильной формы. Их максималь-

ный размер не превышает 1,6 мкм, а минимальный – 0,3–0,5 мкм.

Проведенные исследования позволяют установить, что в многокомпонентной сырьевой смеси на основе полиминерального глинистого сырья и добавок гранитоидных отсеков возможно получение керамических масс для плиток внутренней облицовки стен, обладающих требуемыми значениями физико-химических и эксплуатационных свойств. Плитки также обеспечивают требуемые значения влажностного расширения, которое не превышает значений 0,02.

Содержащиеся в легкоплавких глинах примеси оказывают существенное влияние на фазовый состав и свойства обожженного материала. Установлено, что при содержании в глинах карбонатов в керамическом черепке при обжиге образуются силикаты и алюмосиликаты кальция и в меньшей степени магния. При этом значительно уменьшается усадка и влажностное расширение образцов, повышаются показатели физико-химических свойств керамических материалов, предназначенных для изготовления плиток. Повышенное содержание оксидов железа при одновременном увеличении содержания оксидов щелочных металлов в легкоплавких глинах обуславливает интенсивное растворение в расплаве содержащегося в глинах в качестве примесей кварца.

Присутствующие в легкоплавких глинах в качестве примесей небольшие количества сульфатов в виде CaSO_4 и $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в интервале температур 1000–1060 °С полностью разлагаются. Выделяющийся при этом CaO частично связывается в анортит, частично переходит в расплав, понижая его вязкость. Это также в свою очередь интенсифицирует процесс растворения кварца и снижает температуру спекания материала.

Следовательно, примеси карбонатов и сульфатов в легкоплавких глинах при шликерной подготовке масс, используемой в производстве керамических плиток, не оказывает отрицательного влияния на процесс спекания. Однако при разработке составов керамических масс для плиток необходимо учитывать соотношение $\text{RO}/\text{R}_2\text{O}$, величина которого должна быть 3,0–3,5.

Разработанные составы масс рекомендованы для промышленной апробации в производстве в ОАО «Керамин», что не потребует существенных изменений технологического процесса получения плиток для внутренней облицовки стен, кроме установки дозирующих устройств для подачи суглинков месторождения «Фаниполь».

Е.В. Лукаш, доц., канд. техн. наук;
Н.М. Шалухо, доц., канд. техн. наук;
В.С. Качурина, студ. (БГТУ, г. Минск)

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАСИЛИКАТА НАТРИЯ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Безводные метасиликаты щелочных металлов в Республике Беларусь не производятся, а потребность в них покрывается за счет импорта, в основном из Китая и Бельгии. В связи с этим, разработка технологии получения безводного метасиликата натрия является важной задачей, поскольку позволит расширить ассортимент выпускаемой продукции, а также выйти на новые рынки сбыта. Производство безводного метасиликата натрия обеспечивает более высокое содержание основного вещества, чем в водорастворимых формах, что дает возможность изготовления высококонцентрированной продукции, более низкие затраты на транспортировку, улучшенные эксплуатационные свойства, в частности время растворения и гигроскопичность.

Исследования по изучению оптимальных режимов получения безводного метасиликата натрия были условно разделены на следующие этапы: сернокислотный синтез кремнезема; щелочная обработка полученного кремнезема раствором NaOH; кристаллизация безводного метасиликата натрия.

Для проведения эксперимента в качестве исходных сырьевых материалов были использованы жидкое стекло с силикатным модулем $n = 3$, производства ОАО «Домановский производственно-торговый комбинат», гидроксид натрия и серная кислота квалификации «хч».

Для определения оптимальных условий осаждения кремнезема путем сернокислотной обработки жидкого стекла изучены следующие параметры: концентрация серной кислоты, температура проведения и продолжительность процесса.

На первом этапе работы варьировали концентрацией серной кислоты в диапазоне от 30 до 70 % и исследовали ее влияние на выход SiO_2 . Установлено, что в зависимости от изменения концентрации H_2SO_4 в диапазоне 30–70 мас. %, выход SiO_2 составил 88,1–98,0 мас. %. Наибольший выход продукта получен при концентрации серной кислоты 50%, что объясняется ее большей реакционной способностью по сравнению с более высококонцентрированной кислотой. При концентрации H_2SO_4 менее 50 %, степень извлечения SiO_2 снижается, что, вероятно связано с неполнотой протекания процесса.

Изучение влияния температуры процесса на осаждение SiO_2

проводилось при следующих параметрах: температуру варьировали в диапазоне 20–50°C; концентрация серной кислоты составляла 50 %; продолжительность процесса – 90 мин.; скорость перемешивания – 450 об/мин. Установлено, что с увеличением температуры процесса выход продукта уменьшается, что может быть связано с обратным частичным растворением более мелких зерен осадка. Наиболее оптимальной температурой выбрана 20°C, при которой извлечение SiO₂ в осадок составляет 98 %.

При разработке оптимальных условий щелочной обработки, изучены следующие параметры: концентрация раствора NaOH, твердожидкое отношение и температура проведения процесса.

Из литературных данных известно, что концентрация раствора NaOH может находиться в диапазоне 100–400 г/л; твердожидкое соотношение – 1 : 2–1 : 8; температура проведения синтеза – 94–96°C; время обработки – 90 мин. Установлено, что при концентрации щелочного раствора 300 г/л наибольший выход целевого продукта был получен при твердожидком отношении 1 : 6 – 89,2 %. Анализ литературных данных показал [1, 2], что температура процесса щелочной обработки может варьироваться от 85 до 100°C. При изучении влияния температуры процесса на выход безводного метасиликата натрия, установлена оптимальная температура, равная 94–96°C.

Основными потребительскими свойствами безводного метасиликата натрия являются гигроскопичность, поскольку метасиликаты натрия подвержены слеживанию, и время растворения. Наибольшее время растворения (более 7 мин) и гигроскопичность (7,3 %) наблюдается у девятиводного метасиликата натрия, что, вероятно, обусловлено наибольшим содержанием кристаллогидратной воды в его составе. Экспериментальный образец безводного метасиликата натрия показал среднее время растворения, равное 5,20 мин и меньшую гигроскопичность (4,2 %).

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ получения безводного метасиликата натрия: пат. 519397 СССР, МПК С01В 33/32 (2006.01) / В.Г. Батыгин; заявитель В.Г. Батыгин. – № 2033905; заявл. 18.06.1974; опубл. 30.06.1976.

2. Способ получения безводного гранулированного метасиликата натрия: пат. 586123 СССР, МПК С01В 33/32 / Б.А. Шихов, А.Ф. Долкерт, Н.А. Чернякова, В.Г. Карпенко; заявл. 01.07.1976; опубл. 30.12.1977.

А.Н. Шиманская, ст. преп., канд. техн. наук;
Р.Ю. Попов, доц., канд. техн. наук;
А.Д. Подсосонная, асп.; Д.А. Боровко, студ.;
И.А. Борозна, А.В. Жерноклева, студ. (БГТУ, г. Минск)

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНОЙ КЕРАМИКИ

Материалы, которые используются для замещения костной ткани, должны выполнять опорную функцию, т. е. обладать необходимыми прочностными характеристиками, являться источниками фосфора и кальция для образования новой костной ткани, а также отличаться резорбируемостью в среде человеческого организма, отсутствием токсичности, биосовместимостью и др. Как известно, кальций-фосфатные материалы с соотношением Ca/P от 1,33 до 1,50 характеризуются большей скоростью растворимостью по сравнению со стехиометрическим синтетическим гидроксиапатитом (Ca/P – 1,67). В связи с этим значительное внимание уделяется разработке композиционных материалов, состоящих из нескольких кальций-фосфатных фаз. В настоящее время получена резорбируемая керамика с использованием следующих компонентов: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; гидроксиапатит и трикальцийфосфат; гидроксиапатит и брушит; $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, CaSiO_3 и CaCO_3 ; триклинный октакальций фосфат пентагидрат и гидроксиапатит; гидратированные фосфаты кальция и магния; гидроксиапатит, β -трехкальциевый фосфат и оксид кальция. Также в научно-технической литературе приведены исследования в области получения композиционных материалов на основе гидроксиапатита и биоактивных стекол. Повышению прочностных характеристик способствует введение добавок фосфата магния, оксида алюминия, оксида кальция, диоксида титана, диоксида циркония, металлов, муллита, углеродных нанотрубок, никелида титана и др. Кроме того, механические свойства кальций-фосфатных материалов зависят от гранулометрического состава исходного порошка, технологических параметров получения, соотношения гидроксиапатита и β -трехкальциевого фосфата и т.д. Кроме того, для активизации процесса спекания и снижения температуры обжига могут применяться карбонаты кальция, лития, калия, кальций-фосфатные связующие, приготовленные на основе карбоната кальция и фосфорной кислоты и содержащие дополнительно хлорид алюминия и борную кислоту [1–6].

Принимая во внимание вышесказанное, в настоящем исследовании в качестве добавок использовались дигидроортофосфат кальция

(ГОСТ 10091); бой кварцевого стекла (ГОСТ 15130); диоксид кремния нанодисперсный аморфный (ГОСТ 14922); оксид алюминия и пирофосфат кальция, полученные методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в растворе по методикам, приведенным в [7] и [8] соответственно; биоактивное стекло (24,5 мас.% Na₂O; 24,5 мас.% CaO; 45,0 мас.% SiO₂; 6,0 мас.% P₂O₅ [9]). Все указанные добавки вводились в количестве 2,5–10,0 мас. %.

Экспериментальные образцы готовились следующим образом. Смеси гидроксиапатита, полученного методом жидкофазного синтеза [10], и добавок подвергались совместному мокрому помолу в лабораторной шаровой мельнице BML-2 (DAIHAN) в течение 30–60 мин для гомогенизации. Влажность приготовленных керамических масс составляла 45,0 мас. %. Для формования изделий использовался метод 3D-печати. Сформованные образцы подвергались сушке в сушильном шкафу SNOL при температуре 60±5 °С, а затем обжигу в электрической лабораторной печи SNOL 1,6,2,5.1/13,5-Y1 при температурах 500–1200 °С (шаг – 100 °С) с выдержкой при максимальной температуре – 1 ч.

Физико-химические свойства определялись в соответствии с ГОСТ 30534, ГОСТ 2409, ГОСТ Р 57606 и др. (таблица 1).

Таблица 1 – Технологические и физико-химические свойства

Применяемая добавка	Значение показателя				
	водопоглощение, %	открытая пористость, %	кажущаяся плотность, кг/м ³	механическая прочность при сжатии, МПа	общая усадка, %
Без добавок	29,9–49,6	48,5–59,7	1204–1622	4,1–11,7	10,5–18,3
Дигидроортофосфат кальция	32,0–51,8	48,3–61,6	1510–1167	1,3–10,9	9,7–18,1
Диоксид кремния	18,9–54,8	35,7–61,4	1110–1885	2,8–32,5	9,0–25,0
Бой кварцевого стекла	25,0–51,6	43,4–60,7	1142–1745	1,5–22,0	10,8–23,8
Биоактивное стекло	29,6–48,6	49,3–59,7	1228–1666	0,6–15,0	11,9–22,1
Оксид алюминия	29,7–53,3	47,5–62,1	1152–1602	2,0–16,8	9,6–18,4
Пирофосфат кальция	9,8–57,2	23,3–62,2	1076–2388	1,3–18,6	9,1–29,6

Рентгенофазовый анализ позволил установить, что основной кристаллической фазой во всех синтезированных материалах является гидроксиапатит Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂, который при температурах обжига выше 1100 °С частично переходит в ортофосфат кальция Ca₃(PO₄)₂.

С помощью электронной микроскопии выявили присутствие значительного количества пор различной конфигурации, размер которых составляет от 0,5 до 20,0 мкм.

Исследования выполнены в рамках проекта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант БРФФИ № Т20М-034).

ЛИТЕРАТУРА

1. Barinov S.M. Calcium phosphate-based ceramic and composite materials for medicine // Russian chemical reviews. – 2010. – Vol. 79, iss. 1. – P. 13–29.

2. LeGeros R. Z., Daculsi G. In vivo transformation of biphasic calcium phosphate ceramics: ultrastructural and physico-chemical characterizations. Handbook of Bioactive Ceramics. – USA: CRC Press, 1997. – 127 с.

3. Mehmet Y. Sintering Behavior and Mechanical Properties of Biphasic Calcium Phosphate Ceramics // Advances in Materials Science and Engineering. – 2014. – Vol. – P. 1–5.

4. Enhancing mechanical and biological properties of biphasic calcium phosphate ceramics by adding calcium oxide / Y. Wang et. al // J of the American Ceramic Society. – 2021. – Vol. 104, iss. 1. – P. 548–563.

5. Bellucci D., Sola A., Cannillo V. Hydroxyapatite and tricalcium phosphate composites with bioactive glass as second phase: State of the art and current applications // J Biomed Mater Res A. – 2016. – Vol. 104. iss. 4. – P. 1030–1056.

6. Композиционные керамические материалы на основе фосфатов кальция с пониженной температурой спекания / Е.С. Полутина и др. // Успехи в химии и химической технологии. – 2013. – Т. 27. – № 5 (145). – С. 69–74.

7. Özdemir H. M., Öksüzömer A. Faruk. Synthesis of Al₂O₃, MgO and MgAl₂O₄ by solution combustion method and investigation of performances in partial oxidation of methane // Powder Technology. – 2020. – Vol. 359. – P. 107–117.

8. Sasikumar S., Vijayaraghavan R. Solution combustion synthesis of bioceramic calcium phosphates by single and mixed fuels – A comparative study // Ceramics International. – 2008. – Vol. 34(6). – P. 1373–1379.

9. Hench L.L. Some comments on bioglass: four eras of discovery and development // Biomed. Glass. – 2015. – Vol. 1. – No 1. – P. 1–11.

10. Разработка составов масс на основе фосфатов кальция для 3D-печати керамических изделий / А.Н. Шиманская и др. // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2021. – № 2 (247). – С. 187–199.

М.В. Дяденко, доц., канд. техн. наук;
И.А. Левицкий, проф., д-р техн. наук;
О.В. Кичкайло, ст. науч. сотр., канд. техн. наук;
Е.А. Костик, мл. науч. сотр. (БГТУ, г. Минск)

ОСОБЕННОСТИ СТЕКЛООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ $K_2O-B_2O_3-SiO_2$

Система $K_2O-B_2O_3-SiO_2$ представляет интерес с точки зрения получения на ее основе стекол для светоотражающей оболочки жесткого оптического волокна.

Светоотражающая оболочка выполняет три основные функции: обеспечивает полное внутреннее отражение светового луча, распространяющегося по световедущей жиле, уменьшает потери световой энергии при отражениях от поверхности раздела световедущая жила–светоотражающая оболочка, и служит оптической изоляцией, предупреждающей возможность проникновения света из одного волокна в другое в пучке оптических волокон.

Выбор системы обусловлен требованиями, предъявляемыми к стеклам с низким показателем преломления. Такие стекла содержат значительное количество оксидов-стеклообразователей, обеспечивающих высокое содержание мостиковых атомов кислорода в их структуре, что способствует снижению показателя преломления.

Решение данной задачи целесообразно при использовании щелочесодержащих боросиликатных стекол, из которых наиболее устойчивы к фазовому разделению калийсодержащие составы.

В настоящей работе проведено детальное исследование превращений, происходящих в шихте при ее нагреве, изучение которых необходимо при разработке стекол для светоотражающей оболочки оптического волокна.

Синтез стекол проводился в системе $K_2O-B_2O_3-SiO_2$ при следующем содержании оксидов, мас. %: 67,5–80,0 SiO_2 ; 10,0–20,0 B_2O_3 ; 10,0–20,0 K_2O . С целью подавления ликвационных процессов в системе осуществлялось введение в некоторые составы 2,5 мас. % Al_2O_3 взамен SiO_2 .

В качестве исходных компонентов использовались обогащенный кварцевый концентрат марки КГО (ТУ 5726-002-11496665), борная кислота квалификации ос.ч. для волоконной оптики (ТУ 6–09–4485), калий углекислый квалификации х.ч. (ГОСТ 4221) и глинозем марки Г-000 (ГОСТ 30558), которые предварительно подготавливались и смешивались согласно заданной рецептуре.

Для исследования процессов силикатообразования и стеклообразования при синтезе стекол проводилась многопозиционная термическая обработка сырьевых композиций в температурном интервале 300–750 °С с интервалом 150 °С и выдержкой при максимальной температуре в течение 1 ч. Фазовый состав продуктов термообработки шихты определялся по данным рентгенофазового анализа, проводимого на дифрактометре D8 Advance фирмы Bruker (Германия). Для идентификации кристаллических фаз использовалась международная картотека Joint Comite on Powder Diffraction Standarts и программное обеспечение DIFFRAC PLUS фирмы «Bruker».

Анализ рентгенограмм термообработанных при 300 °С сырьевых композиций позволил выявить наличие кристаллических фаз β -кварца, K_2CO_3 и KB_3O_5 . Сравнение интенсивностей рентгеновских рефлексов бората калия при 25 град. показало, что повышение содержания оксида бора до 20 мас. % приводит к росту количества указанной кристаллической фазы. При этом зафиксировано присутствие рефлекса при 14,9 град., принадлежащего HBO_2 , что свидетельствует о разложении борной кислоты. Как известно [1], при нагревании ортоборная кислота теряет воду и сначала переходит в метаборную кислоту, а при дальнейшем нагревании обезвоживается до борного ангидрида, характеризующегося стеклообразной структурой.

Отмечено, что с повышением температуры термообработки до 450 °С качественный фазовый состав продуктов кристаллизации не изменяется. При этом наблюдается снижение интенсивностей рефлексов, принадлежащих K_2CO_3 , при одновременном формировании метасиликата калия K_2SiO_3 , что говорит о более интенсивном вступлении в реакцию первого. Наиболее активное образование K_2SiO_3 происходит при содержании 20 мас. % оксида калия. Установлено, что рост температуры приводит к снижению интенсивностей дифракционных максимумов, принадлежащих HBO_2 и KB_3O_5 .

При температуре выдержки шихт, составляющей 600 °С, их фазовый состав представлен в основном α -кварцем, что связано с модификационным переходом β -кварца в α -кварц при 573 °С. При повышении температуры термообработки не регистрируются пики, принадлежащие HBO_2 и K_2CO_3 , что вызвано как процессами их термической диссоциации, так и твердофазными реакциями и реакциями в расплаве, ведущими к образованию химических соединений силикатов и боратов. Однако следует отметить, что по данным литературы [2] для полного разложения H_3BO_3 и K_2CO_3 требуется температура не менее 1400 °С. Эти процессы сопровождаются некоторым снижением интенсивностей брэгговских отражений боратов и силикатов калия

относительно рефлексов α -кварца.

По результатам рентгенофазового анализа шихт, подвергнутых изотермической выдержке при 750 °С, основным продуктом является непрореагировавший кремнезем в форме α -кварца. Интенсивность дифракционных максимумов кристаллических фаз боратов и силикатов калия в шихтах при этом значительно снижается, что связано с интенсивным нарастанием количества расплава, способствующего растворению кристаллов. В многокомпонентных системах реакции диссоциации карбонатов, силикатообразования и плавления начинаются раньше, идут более интенсивно и заканчиваются при более низких температурах. На тенденцию увеличения количества стеклофазы, образующейся при обжиге образцов, также указывает некоторый рост интегрального гало, который отмечается на дифрактограммах материалов. При повышении содержания SiO_2 в составах стекол до значения 80,0 мас. % отмечается наличие не фиксируемой ранее фазы тетрасиликата калия $\text{K}_2\text{Si}_4\text{O}_9$ при отсутствии K_2SiO_3 , то есть имеет место последовательный переход от основных к кислым силикатам.

Установлено, что введение 2,5 мас. % Al_2O_3 не оказывает существенного влияния на качественное и количественное содержание кристаллических фаз, образуемых при политермической обработке шихт.

Результаты варки стекол при температуре 1500 ± 10 °С в газопламенной печи позволяют получить однородные прозрачные стекла, характеризующиеся отсутствием признаков фазового разделения.

Таким образом, методом рентгенофазового анализа изучены структурные превращения, происходящие в шихте в процессе варки стекол для светоотражающей оболочки жесткого оптического волокна.

*Работа выполнена при финансировании в рамках НИР ГПНИ
«Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия».*

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметов, Н.С. Общая и неорганическая химия / Н.С. Ахметов. – М.: Высш. шк., Изд. центр «Академия», 2001. – 743 с.
2. Физико-химические основы производства оптического стекла / под ред. Л. И. Демкиной. – Спб.: Химия, 1976. – 456 с.

УДК 543.424.2:666.266.6

Е.Е. Трусова, доц., канд. техн. наук;
Ю.Г. Павлюкевич, доц., канд. техн. наук;
Л.Ф. Папко, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)
С.П. Гречуха (ОАО «Гомельстекло», г. Гомель)

РАМАНОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СТЕКЛЕ

Диагностика пороков стекла является важной составляющей технологического контроля производства. Оперативное определение вида и состава пороков позволяет установить причину их появления и предотвратить существенные производственные потери, связанные с качеством стеклоизделий. Исследование процессов стеклообразования при оптимизации промышленных составов стекол также требует определения вида и состава включений, в первую очередь кристаллических.

Кристаллические включения как наиболее грубые пороки стекла требуют особого внимания, поскольку могут быть следствием серьезных нарушений технологического процесса. Наличие включений шихты (шихтные камни) может являться следствием нарушений в технологии ее подготовки, изменения фазового и гранулометрического состава сырьевых материалов. Включения огнеупоров свидетельствуют об их активной коррозии и могут быть сигналом о проблемах с кладкой стекловаренной печи. Наличие камней кристаллизации свидетельствует чаще всего о нарушении температурного режима в зоне студки. В стекле могут быть также инородные включения.

Известным методом диагностики кристаллических включений в стекле является петрографический метод с использованием не препарированных образцов или шлифов. Однако использование данного метода может дать субъективные данные, в ряде случаев требуется привлечение других методов диагностики [1].

Рентгенофазовый анализ может обеспечить точную диагностику вида и, соответственно, происхождения камней, но при малых размерах минеральных образований их невозможно выделить и выявить фазы, содержание которых в образце составляет менее 10 %.

Целью данной работы является разработка методики исследования кристаллических включений в стекле с использованием рамановской спектроскопии (спектроскопии КР).

Спектры КР получены с использованием конфокального рамановского микроскопа ConfotecMS 3504i при длине волны лазера 532 нм.

В зависимости от размера включений спектры снимались при увеличении 40, 200, 400 и 1000 крат.

Для определения природы включений использовалась электронная база данных RRUFF [2]. Однако в ряде случаев исходя из возможных причин появления кристаллических включений использовались спектры образцов огнеупоров, сырьевых материалов и т.п.

При исследовании включений в зоне обрыва стекловолокна спектры КР данных включений сопоставлялись со спектрами огнеупорных материалов. Выявлено практически полное совпадение линий на спектрах включений и бадделеито-корундового огнеупора (бакора) (рисунок 1, а). Следовательно, появление включений такого рода связано с коррозией огнеупоров бассейна стекловаренной печи.

Аналогичные результаты, а именно наличие кристаллических включений, представляющих собой продукты разрушения бакора, получены при исследовании пороков в образцах тарного стекла (рисунок 1, б).

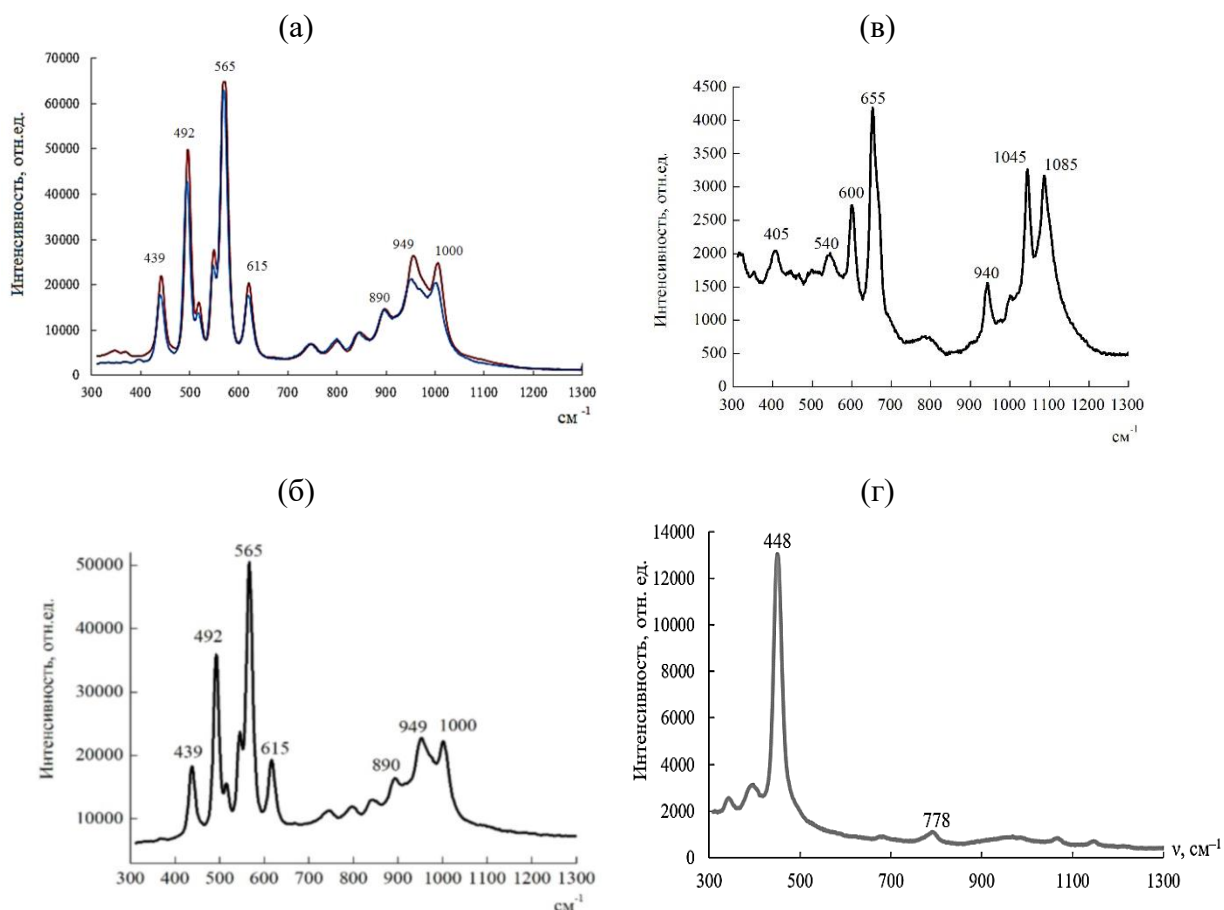


Рисунок 1 – Характерный спектр кристаллических включений в сопоставлении со спектром бакора в стекловолокне (а) и тарном стекле (б); кристаллические включения девитрита (в) и кварца (г)

Девитрит $\text{Na}_2\text{O}\cdot 3\text{CaO}\cdot 6\text{SiO}_2$ является одним из часто встречающихся кристаллических включений в листовом стекле. Девитрит образуется при кристаллизации натриево-кальциево-силикатных стекол в виде сферолитов или игольчатых кристаллов. Соединение плавится incongruently при $1060\text{ }^\circ\text{C}$ сопровождается выделением псевдоволластонита $\alpha\text{-CaO}\cdot\text{SiO}_2$. Окончательное плавление смеси, соответствующей девитриту, наступает при $1300\text{ }^\circ\text{C}$. Основные линии рассеивания на спектрах КР кристаллических включений листового стекла (рисунок 1, в) полностью отвечают присутствию девитрита. Полученные данные подтверждены исследованиями методом рентгенофазового анализа.

Проведения микроанализа дает возможность определять вид включений, размеры которых составляют от $10\text{ }\mu\text{m}$. Это позволяет оценить степень структурной однородности стекла даже при отсутствии зрительно видимых кристаллических включений. В частности, наличие в структуре стекла не растворившихся зерен кремнезема при размере частиц $10\text{--}100\text{ }\mu\text{m}$ проявляется на спектрах КР интенсивной линией при 448 cm^{-1} (рисунок 1, г), которая в соответствии с базой данных RRUFF отвечает кварцу. В случае наличия в спектре линии при 410 cm^{-1} идентифицируется кристобалит.

Использование спектроскопического метода при исследовании процессов стекловарения позволяет определить состав продуктов взаимодействия компонентов шихты и температурно-временные условия достижения однородности расплава. Например, установлено, что процессы стеклообразования при варке стекол системы $\text{MgO}\text{--}\text{CaO}\text{--}\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--}\text{Al}_2\text{O}_3\text{--}\text{SiO}_2$ завершаются растворением в расплаве кварца и образующегося на стадии силикатообразования анортита в температурном интервале $1250\text{--}1350\text{ }^\circ\text{C}$.

Таким образом, по результатам исследований промышленных образцов стекол, содержащих кристаллические включения, можно заключить о перспективности использования рамановской спектроскопии для диагностики пороков стекла. Создание собственной базы данных спектров кристаллических включений позволит оперативно проводить диагностику пороков стекла без привлечения дополнительных методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виды брака в производстве стекла / под общей ред. Г.Иебсена-Мерведея, Р. Брюкнера. – М.: Стройиздат, 1986. – 647 с.
2. RRUFF: database of Raman spectra, X-ray diffraction and chemistry data for minerals. – URL: <https://rruff.info/>.

**TEACHING AN ACADEMIC DISCIPLINE
«PHYSICAL CHEMISTRY OF REFRACTORY NON-METALLIC
AND SILICATE MATERIALS» IN ENGLISH USING
THE ELECTRONIC METHODOLOGICAL COMPLEX
IN THE MOODLE SYSTEM**

Distance learning is education; is a system of interaction between teachers and students using a virtual information environment, which provides opportunities for the exchange of various information.

The main advantage of distance learning is that it can be attended by all types of students, including those who cannot enjoy traditional forms of education for objective reasons. Distance learning makes the learning process more creative and personalized, opens up new opportunities for students' creative expression. Experience shows that distance learning students are becoming more independent, mobile and responsible. The main disadvantage of distance learning is the lack of direct personal communication between students and teachers. When nobody else can reflect knowledge in an emotional form, this is an obvious disadvantage of the educational process. In the Republic of Belarus, distance education is a form of education, where education is carried out mainly using modern communication and information technologies. That is not a separate form of education. In fact, an auxiliary tool complements traditional forms of education. However, in the Republic of Belarus, the distance learning encounters the following difficulties:

1) The legal framework is not perfect, that is, the same standards are applied to educational programs implemented using distance learning technologies, so as to traditional ones.

2) The human factor plays one of the most important roles in the establishment and development of innovations. In Belarus, the number of qualified experts is small. University staff cannot, or are unwilling to, put distance education technologies to use. They are thus unable to tap into the potential of distance education

3) The material-technical factor in the system of distance education faces several obstacles. First, there is a lack of investment and state donation in education. Secondly, the lack of qualified specialists makes using new forms and methods of distance education impossible.

4) Most of the population has low incomes and low computer literacy, which restricts the emergence of mass distance learning programs.

5) Conservatism in relation to the distance learning by adherents of conventional education.

In the early 2020, Belarus and the rest of the world faced an unexpected external factor (COVID–2019 pandemic) that triggered a qualitatively new stage in the development of the state, society, economy and education. World medicine turned out to be unprepared to fight the new virus; therefore, the only more or less effective means of preventing the rapid development of the epidemic was self-isolation, i.e. the maximum limitation of contacts between people. An adequate response of the country's education system in this case was the transfer of educational organizations to a remote form of the educational process. The country's higher education system was, for the first time in its history, in a fundamentally new situation, when all educational activities, including education management at all levels, were transferred to a remote format, involving the organization of training using distance learning technologies

The aim of the work is to develop methodical support of distance education in English at the institutions for higher education with a technical speciality within the academic discipline «Physical Chemistry of Refractory Non-Metallic and Silicate Materials» in the MOODLE system.

The academic discipline «Physical Chemistry of Refractory Non-Metallic and Silicate Materials» is recommended at the first stage of higher education for students specializing in 1–48 01 01 «Chemical technology of inorganic substances, materials and products». The discipline is aimed at generating a theoretical knowledge base among students, which is the basis for obtaining forecasting skills in obtaining refractory non-metallic and silicate materials with an adjustable phase composition, given properties and structure.

The electronic methodological complex in English for the discipline «Physical Chemistry of Refractory Non-Metallic and Silicate Materials» was developed in 2021 for part-time students studying in English, but it can also be used to work with foreign students studying in English to improve their academic performance. These teaching materials are available through the Belarusian State Technological University website (<https://dist.belstu.by/course/view.php?id=2427>).

The architecture of the electronic methodological complex has a clear structure and is represented by the following sections: introduction; theoretical section; a practical section; knowledge control section; auxiliary section (Fig. 1).

The introduction has student's work schedule, which contains the schedule of consultations and online lectures; recommendations for the student's work with electronic methodological complex, which describe in detail how to use them; links to the pages of the university, department and library with the information relevant for students; forum for reporting possible technical problems, or making suggestions to improve the course; chat to ask questions the students are interested in.

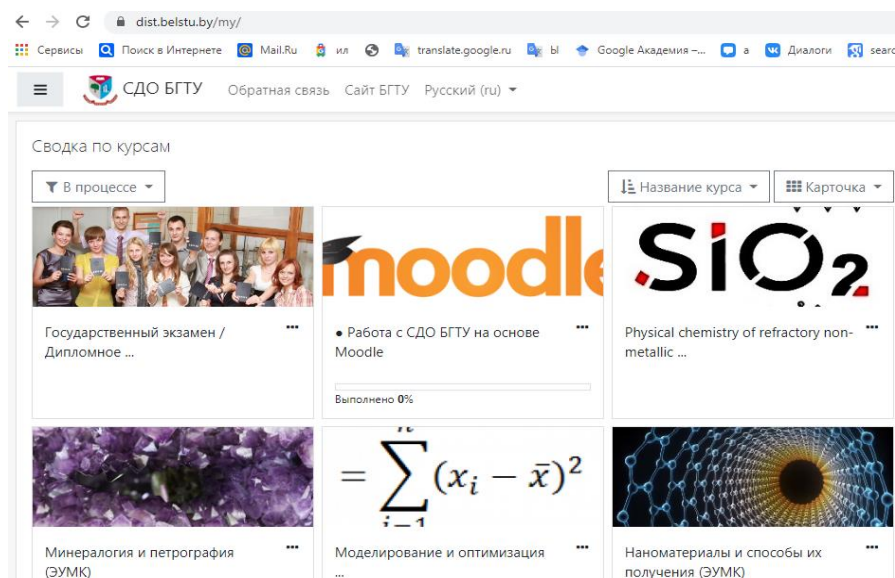


Fig. 1. The view of electronic methodological complex

There is a further theoretical section containing the materials necessary to be prepared for the lectures. There is a link to online lectures. By clicking on this button, the student can join the lecture in accordance with the schedule. The lecture presentations, video lectures and a selection of links to video materials from various Internet resources are available here.

The practical section includes electronic versions of laboratory work; algorithms for calculating liquids curves of two-component systems using the Schroeder-Le Chatelier equation, examples of problem solving, as well as tasks for completing individual tasks.

Recently student testing have become not only the final assessment of students' knowledge, but it is mostly used for the midpoint assessment of knowledge and in the educational process at higher education institutions, which is equally important. In order to improve the learning, online testing presents numerous types of tasks: questions with one correct answer and multiple choice, to match or for sequencing. Nowadays, it is no longer necessary to print out testing forms to do the test. Special platforms for online testing may be used. These services allow creating tests, providing link to any number of students in order to pass a test and generating record of results. Moodle is the platform used for online education and testing. In order to improve the learning, online testing presents numerous types of tasks: questions with one correct answer and multiple choice, to match or for sequencing. There is no need to waste time on manual checking of tests. Immediately after passing online testing, student gets the result of assessment. Teacher, in his/her term, doesn't have to spend a lot of time to check the tests and analyze the results – all happens automatically. Student doesn't have to go or commute somewhere, distract from work and wait for the “verdict”, online testing can be passed on mobile phone. Development test-

ing systems contain different types of questions: *Multiple-choice questions* are fundamental survey questions that provide students with multiple answer options. Multiple-choice questions can have single select or multi-select answer options. *True/False questions* is a simple form of a multiple-choice question with just the two choices «True» or «False» and is used to assess a student's ability to determine whether a statement is correct. *Matching* is a test type where students can demonstrate their ability to connect themes; the name of the compound with its formula; the compound and its melting point, etc. Elements are traditionally presented in two columns or lists, and each element in one list is paired with at least one element from the other list. This entry further describes matching items, gives examples of several types of matching items, and discusses issues with scoring certain types of matching items. *A numerical reasoning question* is a question where students are required to answer questions using data presented in lectures or must calculate. *Short-answer questions* are questions that require students to write the right answer without misprint. The answer could be a word or a phrase, but it must match one of your acceptable answers exactly. It is a good idea to keep the required answer as short as possible to avoid missing a correct answer that is phrased differently. These questions students ability to integrate what they have learned in the lectures, practice, and discussions, and to apply that knowledge.

Developed a testing system for spaced assessment of knowledge allows to significantly save time, exclude the subjectivity of the mark and prejudice of the teacher towards students, increase the level of academic performance, disciplines students, and visualize the phenomena and processes by which knowledge is tested.

The auxiliary section contains include: scientific literature databases; a sets of state diagrams for practical exercises; guidelines for teaching an academic discipline; literature recommended by the teacher on the discipline include 30 books; the curriculum on academic discipline for specializing in 1–48 01 01 «Chemical technology of inorganic substances, materials and products»; the main tasks of studying the discipline «Physical chemistry of refractory non-metallic and silicate materials».

The structure of the electronic methodological complex in English for the discipline «Physical Chemistry of Refractory Non-Metallic and Silicate Materials» thus fully meets the requirements of the course in the discipline of the same name and contains all the materials required for its study, and can be used for efficient distance teaching of the discipline according to the following models: fully distance learning (online learning); partial use of distance learning technologies that allow for distance learning (blended learning); web-support training.

Н.Б. Аллаёров, магистрант;
О.Б. Дормешкин, директор МИАЦТТ, д-р техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАВОЙСКОГО ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА И ПУТИ ЕГО ОПТИМИЗАЦИИ

Одной из отраслей Республики Узбекистан, характеризующихся высоким водопотреблением и образованием значительных объемов сточных вод, является горнодобывающая и горноперерабатывающая промышленность. Водное хозяйство горной промышленности отличает то, что забор воды и сброс ее в процессе добычи руды превышает потребление воды на производственные нужды по получению конечных продуктов более чем в 3 раза, причем для шахт – в 7 раз, для разрезов – в 4,5 раза. Примерный удельный расход воды по отдельным предприятиям горно-металлургического комплекса представлен в таблице.

Таблица – Удельные расходы воды по отдельным предприятиям

Промышленное предприятие	Единицы измерения	Удельный расход воды, м ³
Обогатительная фабрика	1 т руды	8-23
Агломерационная фабрика	1 т агломерата	1,1-5,7
Металлургический комбинат или завод	1 т стали	220-245
	1 т чугуна	240-245
Медный завод	1 т меди	180-310

Конкретный метод очистки жидких горнопромышленных отходов – сточных вод, может быть выбран только на основе установления их качественно-количественного состава, целесообразности их последующей регенерации или утилизации, а также характера и мощности водоема (пруда-усреднителя), ряда иных факторов. Кроме того, особенности минералогического состава добываемых руд и геологических условий их залегания не позволяют сформулировать универсальный метод переработки данных сточных вод, а требуют проведения отдельных исследований для каждого конкретного месторождения и конкретного горно-обогатительного комбината.

В связи с чем целью исследований, результаты которых представлены авторами, явилось изучение состояния системы водопотребления, источников образования, качественно-количественного состава сточных вод Навойского горно-металлургического комбината (НГМК) и выработка рекомендаций по ее оптимизации.

Крупнейшим предприятием в горно-металлургической отрасли, входящим в состав НГМК, является Гидрометаллургический завод №3 (ГМЗ-3), расположенный в Северном рудоуправлении. Сегодня суммар-

ный объем добычи руд превышает 10 млн. тонн. Как показал анализ, на производственном предприятии ГМЗ-3 на переработку 1 тонны руды в среднем требуется $1,8 \text{ м}^3$ воды, поступающей из водозабора «Бешбулак». Таким образом, годовой объем воды составляет около 20 млн. м^3 , а объем сточных вод, поступающих из производства в хвостохранилище, - свыше 50000 м^3 .

Рудник «Маржанбулок», входящий в Южное рудоуправление (ЮРУ), на переработку 1 тонны руды потребляет почти $1,5 \text{ м}^3$ воды, которая поступает из реки «Сангзор». Ежегодный объем сточных вод, поступающих в хвостохранилище рудника, составляет около 10000 м^3 .

Суммарный объем переработки руды НГМК в 2020 г. составил 44,6 миллиона тонн, а в будущем планируется переработка 50 млн тонн руды в год. Следовательно, проблема организации оптимальных водооборотных циклов, а также минимизации объемов образующихся сточных вод и их эффективной очистки только возрастает, особенно в условиях ограниченности водных ресурсов Республики Узбекистан.

Авторами выполнен качественно-количественный анализ состава сточных вод, образующихся на карьерах «Кукпатас», «Марджанбулак» и «Даугызтау» НГМК.

Анализ полученных данных позволил сделать вывод о существенном различии в составе сточных вод отдельных карьеров (рудников), что обусловлено особенностями минералогического состава руд, применяемой технологии их добычи и переработки.

Так сточные воды карьеров «Кукпатас», и «Даугызтау» имеют существенное превышение нормативных показателей по содержанию солей кальция и магния, а также практически по всем анионам, особенно сульфатам. В то же время по содержанию солей кальция и магния сточные воды этих карьеров полностью отвечают нормативным требованиям, а главной целью очистки данных стоков должно явиться удаление соединений тяжелых металлов: мышьяка, цинка. Полученные авторами данные позволяют рекомендовать выбор оптимальных методов очистки сточных вод отдельных месторождений НГМК. Как показал анализ состояния водопользования, применяемая на предприятии технология флотационного обогащения природных руд, в частности стадия осветления и разделения суспензий, сопряжена с образованием значительных объемов дебалансовых стоков, которые не возвращаются повторно в технологический цикл, а выводятся в пруды накопители.

В связи с чем важным направлением оптимизации системы водопользования является поиск новых высокоэффективных реагентов, обеспечивающих повышение эффективности разделения суспензий на стадиях отстаивания.



Рисунок – Общий вид отделения сгущения НГМК

Еще одним направлением, обеспечивающим возможность существенного сокращения объемов сточных вод, является применение ингибиторов солеобразования, что позволит повысить кратность циркуляции в замкнутых водооборотных циклах. Это является предметом исследования авторов в настоящее время.

УДК 669.536

Д.Б. Холикулов, зам. директора, д-р техн. наук;
М.К. Нурмухамматова, магистрант (ТГТУ АФ, г. Алмалык);
А.Ф. Минаковский, зав. кафедрой, канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ СЕРНОКИСЛОТНОГО ЦЕХА МЕДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Проблема рационального и комплексного использования сырья занимает важное место в работе предприятий цветной металлургии. Одной из основных тенденций является повышение комплексности использования сырья, определяемой наличием в сырье полезных компонентов и степенью извлечения их во все виды товарной продукции. При этом, задачи охраны окружающей среды и рационального использования минерального сырья являются главенствующей ролью в природоохранной деятельности предприятий.

Технологические растворы сернокислотного цеха медного производства, характеризуются сложным переменным составом и высокой токсичностью. Проблема очистки технологических растворов от металлов существует во многих отраслях промышленности. Она особенно актуальна сейчас, когда мировое сообщество стоит на грани экологического кризиса.

Для их очистки наиболее часто применяются коагуляция, сорбция, флотация, ионный обмен. Низкая эффективность процесса во многом определяется такими недостатками коагулянтов, как медленный гидролиз и малая скорость хлопьеобразования при малых температурах, недостаточная прочность хлопьев, их разрушение и вынос из аппарата. Процесс флотации применяется для удаления из технологических растворов нерастворимых примесей, которые самопроизвольно плохо отстаиваются. Метод не позволяет очищать технологические растворы до нормативов ПДК [1].

При химической очистке применяют нейтрализацию реагентами, взаимную нейтрализацию кислых и щелочных сточных вод, фильтрование через нейтрализующие материалы [2].

Наиболее оптимальным решением для глубокой очистки технологических растворов является метод сорбции, позволяющий извлекать загрязнения с широким диапазоном концентраций. Достоинством метода являются возможность очистки технологических растворов, содержащих несколько веществ, высокая эффективность рекуперация химических соединений. Эффективность адсорбционной очистки составляет 80-95 %. Несомненный интерес представляет процесс флотации ионов и молекул – перспективный метод извлечения необходимых элементов из растворов. Достижения последних лет, связанных с извлечением поверхностно-активных ионов, значительно расширили возможности данного метода [3].

Одной из «экологически чистых» технологий извлечения металлов из растворов и их очистка, является технология с использованием озона [4, 5]. К озонированию относят как процессы окисления органических и неорганических соединений или обезвреживания растворенным в воде озоном, так и окислительные процессы, протекающие при участии гидроксильных радикалов, образующихся в результате химических трансформаций озона. Озон является одним из самых сильных природных окислителей. Взаимодействие соединений с озоном характеризуется многостадийными превращениями с образованием промежуточных продуктов, имеющих различную реакционную способность по отношению к участвующим в процессе окислителям.

К недостаткам озонирования можно отнести: дороговизна озонатора, необходимость специальной подготовки воздуха (осушка) или работа на кислороде, необходимость длительного контакта озона с загрязнителем в случае комплексных соединений, из-за насыщения воды озono-воздушной смесью она приобретает высокую окислительную способность и становится коррозионно-активной, что требует использования специального оборудования и материалов. Предварительные расчеты, показывают перспективность использования озонирования для очистки технологических растворов.

Все научно-исследовательские работы по усовершенствованию процесса были направлены на поиски новых, доступных и дешевых реагентов и достигнуты определенные успехи в этом направлении. Однако многочисленные способы недостаточно эффективны и не дают возможность полностью извлечь металлы из металлосодержащих растворов. До настоящего времени технологические растворы не утилизируются из-за отсутствия эффективной технологии извлечения металлов из растворов с высоким содержанием серной кислоты. Объем промывных растворов СКЦ МПЗ составляет 100÷120 м³/час. Из результатов химического анализа, г/дм³: H₂SO₄ – 65, Cu - 0,019, Zn - 0,112, Fe - 0,0041, Mo - 0,00027, Pb - 0,0001, S - 0,023, Al - 0,0002, видно, что промышленный интерес для извлечения металлов представляют медь, цинк, железо и молибден.

Озон - один из сильнейших окислителей, окисляет все металлы и большинство неметаллов, переводит низшие оксиды в высшие, а сульфиды металлов - в сульфаты металлов. Поэтому использование озона для обработки технологических растворов имеет двойную цель: обеспечить обеззараживание и улучшить качество очищенной воды.

В ходе исследования изучены зависимости концентрации ионов металлов в растворе от продолжительности обработки. За 1 час обработки концентрации металлов уменьшились до уровня <0,01 мг/л, что на порядок ниже ПДК металлов в растворе. Отфильтрованная жидкость при продолжительности обработки больше 1 часа была прозрачной и бесцветной (рисунок 1).

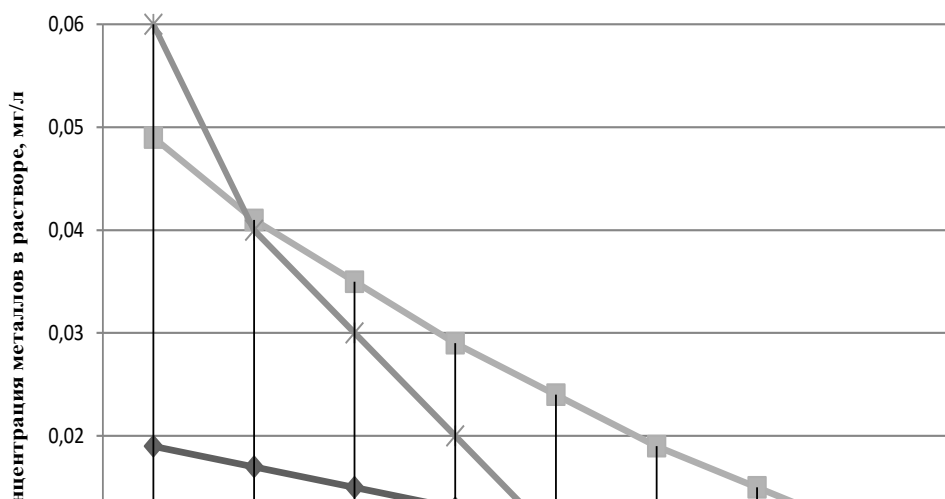


Рисунок 1 – Зависимость изменения содержания ионов металлов в промывных растворах СКЦ МПЗ от продолжительности озонирования

В результате озоновой обработки в компонентном составе сточных вод изменяется соотношение совокупных соединений. Содержание ионов металлов, составляющих основную долю металлосодержащих компонентов, уменьшается при озонировании на 94–99,5 % (таблица). Совместное осаждение двух или нескольких различных ионов

металлов при определенном рН позволяет достигнуть более высокой степени очистки раствора, чем осаждение каждого из них в отдельности. Это объясняется процессом образования в осадке смешанных осадков и абсорбции ионов металлов на поверхности твердой фазы.

Озонирование может быть использовано в качестве эффективного способа извлечения металлов из технологических растворов сернокислотного цеха медного производства.

Таблица – Компонентный состав технологических растворов

Состав исходных технологических растворов			Состав технологических растворов после обработки озоном		
Вид иона	Концентрация ионов, мг/л	Доля от суммарного содержания ионов, %	Вид иона	Концентрация ионов, мг/л	Доля от суммарного содержания ионов, %
Cu	19-35	2,50-2,81	Cu	0,1	1,84
Zn	1-49	0,13-3,93	Zn	0,03	0,55
Fe	41-200	5,39-16,05	Fe	0,001	0,02
Mo	0,27-2	0,04-0,16	Mo	0,01	0,18
Al	50-60	4,82-6,57	Al	0,3	5,51
Сульфаты	650-900	72,23-85,38	Сульфаты	5	91,89
Суммарное содержание ионов	761,27-1246	100	Суммарное содержание ионов	5,441	100

Полученный осадок после процесса озонирования, подвергается химическому анализу и по составу осадка отправляется на извлечение металлов по традиционной схеме: на цинковом или медеплавильном заводе АО «Алмалыкский ГМК». Очищенная вода используется для технологических нужд: парокотельных и бытового использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блинов А.А., Жохова О.К., Бутов Г.М. Модифицированные коагулянты на основе полигидроксохлорида алюминия в практике водочистки // Современные наукоемкие технологии. –2013. – № 9. – С.75-76.
2. Шайхиев И.Г., Минлигулова Г.А. Очистка производственных сточных вод стоками других производств. Часть 2. Очистка сточных вод гальванических производств // Вода и экология: проблемы и решения. – СПб., 2008. – №4. – С. 16-30.
3. Холикулов Д.Б., Нормуротов Р.И., Ахтамов Ф.Э. Исследования по извлечению цветных металлов ионной флотацией из сбросных растворов // Горный вестник Узбекистана. – 2016. – № 2. – С. 68-70.
4. Мосин О.В. Использование озона в водоподготовке // Сантехника. –2011, №4, –С. 47-49.
5. Холикулов Д.Б., Нормуротов Р.И., Болтаев О.Н. Новый подход к решению проблемы очистки сточных вод медного производства Горный вестник Узбекистана. – 2019. – № 3 (78). – С. 92-96.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГРАНУЛИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СЛОЖНО-СМЕШАННЫХ УДОБРЕНИЙ НА ВАЛКОВЫХ ПРЕССАХ МЕТОДОМ СТАТИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ

подавляющая доля выпускаемой в настоящее время ОАО «Беларуськалий» продукции представлена первичным концентратом – хлоридом калия. Экономически более оправдана разработка, освоение технологии и увеличение выпуска инновационных видов удобрений с использованием хлорида калия. Конкретными примерами данного направления является выпуск комплексного сложно-смешанного N-P-K-удобрения различных марок в соответствующих цехах ОАО «Гомельский химический завод» и СОФ ЗРУ ОАО «Беларуськалий». Получение гранулированного продукта включает стадию окатывания приготовленной шихты в барабане-грануляторе. Получаемые гранулы готового продукта имеют относительно невысокую статическую прочность: не менее 2 МПа [1] или 3 МПа [2], что препятствует возможности их поставки на рынки сбыта дальней дуги (Китай, Индия, Бразилия), т.е. снижают экспортный потенциал N-P-K-удобрения с высокой добавленной стоимостью. Следовательно, получение комплексного сложно-смешанного удобрения (ККСУ) в гранулированной форме с высокими значениями статической прочности является актуальной задачей.

При сушке кека хлорида калия в печах КС происходит значительный унос хлорида калия (до 20 %), улавливаемого в виде циклонной пыли. Получение товарных продуктов с использованием пылевидной фракции хлорида калия также является актуальной задачей.

Исходя из теоретических положений и практических результатов, представленных в [3], представляется возможным решение поставленных задач при проведении процесса грануляции шихты комплексных N-P-K-удобрений (в т. ч. с использованием мелкодисперсной фракции хлорида калия) на валковых прессах с получением гранулированного товарного продукта с повышенными значениями статической прочности гранул. В связи с этим представляет практический интерес определение возможности гранулирования комплексных сложно-смешанных N-P-K-удобрений на валковых прессах методом статического прессования в лабораторных условиях.

Объектом исследования служила шихта N-P-K-удобрения марки 16-16-16 с использованием следующих исходных материалов.

Мелкодисперсная фракция калия хлористого, образующаяся на стадии сушки флотоконцентрата в сушильно-грануляционном отделении, следующего состава, мас. %: KCl – 90,4; NaCl – 5,3; н.о. – 3,7; влага – остальное. Средний размер частиц пылевидной фракции составил: +0,15 мм – 15 %; –0,15 мм – 85%. НК 24-0-3 – продукт производства СОО «Мигао» (Солигорск) негранулированный. Диаммофос марки 18-46 гранулированный производства ОАО «ГХЗ». Диаммофос перед внесением в шихту протирался через сито с диаметром отверстий 0,2 мм.

По расчету для получения N-P-K-удобрения марки 16-16-16 состав шихты должно содержать: 25% по массе пылевидной фракции хлорида калия, 40 % по массе диаммофоса марки 18-46 и 35% мас. компонента НК 24-0-3. Далее проводилось перемешивание шихтовых материалов до однородной смеси. Навески приготовленной шихты просеивали через сито 0,16 мм до полного прохождения и помещали в стальную пресс-форму. Внутренний диаметр матрицы 24 мм, диаметр пуансона 23 мм. Перед прессованием проводили ручное уплотнение шихты. Для прессования использовали лабораторный статический пресс Dezimalpresse DP 36. Максимальное давление прессования 20 МПа. Температура шихты перед прессованием соответствовала комнатной (20 – 25°C). Полученные таблетки взвешивали, определяли геометрические параметры, рассчитывали их плотность.

Определение статической прочности полученных образцов проводилось с использованием портативного полуавтоматического электронного тестера твердости ТНЗ (величина максимально определяемого давления до 500 Н). Для испытаний использовали не менее 3 фрагментов после распила полученной таблетки.

Условия и результаты процесса таблетирования приведены в таблице.

Как видно из полученных данных, при проведении статического прессования в лабораторных условиях (опыты 3, 4, 7) получаемые таблетки имеют статическую прочность от 6,0 до 8,1 МПа, что значительно превышает статическую прочность, нормируемую при получении гранулированных удобрений методом окатывания [1, 2].

С учетом рабочих параметров валковых прессов были определены показатели таблеток при меньшем времени прессования (0,1 сек). При этом образцы с высокой статической прочностью (до 8,1 МПа) прессуются при уменьшении высоты таблетки с 7 до 3,8 мм.

**Таблица – Условия и результаты процесса таблетирования
шихты КССУ N-P-K марки 16:16:16**

№ п/п	Давле- ние, МПа	Время выдержки, с	Связую- щее (H ₂ O), %	Показатели таблетки			Статическая прочность, МПа
				D – мм; H – мм; V – мм ³	Масса, г	Плот- ность, г/см ³	
1	10	3,0	1,0	–	5,56	–	–
2	15	3,0	1,0	–	4,46	–	–
3	20	3,0	1,0	D – 22 H – 7 V – 2,66	5,14	1,93	6,6
4	20	3,0	1,2	D – 22 H – 7 V – 2,66	5,14	1,93	6,0
5	20	0,1	1,0	–	5,36	–	–
6	20	0,1	1,0	–	3,24	–	–
7	20	0,1	1,0	D – 22 H – 3,9 V – 1,48	2,62	1,77	8.1

Технические характеристики оборудования отделения грануляции СОФ ЗРУ позволяют их использование для получения гранулированных N-P-K-удобрений повышенной прочности, что открывает возможности увеличения эффективности производства за счет выпуска продукции с высокой добавленной стоимостью, потенциально расширяет рынки и объемы реализации этой продукции в страны дальней дуги.

ЛИТЕРАТУРА

1. ТУ РБ 400089905.022-2003. Удобрения азотно-фосфорно-калийные комплексные. 9 с.
2. ТУ ВУ 600122610.006-2012. Удобрения азотно-фосфорно-калийные комплексные. Технические условия. 6 с.
3. Мурадов Г.С. Получение гранулированных удобрений пресованием / Г.С. Мурадов, И.П. Шомин. М.: Химия, 1985. – 209 с.

Д.З. Эшметова, А.У. Эркаев, А.Н. Бобокулов,
З.К. Тоиров, Б.Б. Туракулов (ТХТИ, г.Ташкент)
О.Б. Дормешкин (БГТУ, г.Минск)

ИЗУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ $\text{Et}_2\text{NH}-\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}$

В работах [1-3] исследован процесс сернокислотной конверсии хлорида калия в присутствии диэтиламина.

Показано влияние последовательности подачи компонентов в реакционную зону, которая значительно влияет на выходные параметры процесса конверсии. На основе экспериментальных данных в качестве оптимального варианта выбрана следующая последовательность подачи компонентов: H_2O , KCl , H_2SO_4 , Et_2NH .

Однако при постепенной добавке концентрированной H_2SO_4 из реакционной массы бурно выделяется газовая фаза, содержащая пары H_2O и Et_2NH . Это приводит к потере диэтиламина и замедляет образование промежуточных продуктов и процесс конверсии.

Для устранения этого недостатка необходимо было изучить поведение компонентов и состояние системы $\text{Et}_2\text{NH}-\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}$.

Как показали исследования [4], оптимальным мольным соотношением $\text{Et}_2\text{NH}:\text{H}_2\text{SO}_4$ является 2:1, а содержание H_2O в системе $\text{Et}_2\text{NH}-\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}$ находится в пределах 40-50%. Поэтому соотношение $\text{Et}_2\text{NH} : \text{H}_2\text{SO}_4$ и содержание воды в системе варьировали в широком интервале – 1:1,33-3,01:1 и 2-95% соответственно.

В качестве исходных материалов использованы реактивный диэтиламин марки ХЧ ТУ 6-09-68-89 с содержанием 99,5% Et_2NH и серная кислота марки ХЧ с концентрацией 99,14%.

Для проведения опытов были подготовлены смеси Et_2NH и H_2SO_4 с соотношением 1:1,33, 1:1, 1,5:1 и 3:1. Из полученных смесей приготовили растворы с концентрацией от 5 до 98,8 % с шагом 5 и 10 % и определяли плотность, вязкость, показатель светопреломления и рН растворов в зависимости от соотношения $\text{Et}_2\text{NH}:\text{H}_2\text{SO}_4$, концентрации и температуры (номограммы 1-2).

Экспериментальные данные показали, что рН системы в изученных интервалах варьирования технологических входных параметров колеблется в пределах от 0,00 до 9,75, а с увеличением соотношения $\text{Et}_2\text{NH} : \text{H}_2\text{SO}_4$ рН системы повышается от 0,78 до 1,19; 1,93 и 8,93.

Необходимо отметить, что у всех проб смеси с повышением концентрации раствора изменение рН переходит через минимум при определенных концентрациях раствора. При концентрации растворов

0,00-50%, 0,39-70%; 1,62-40% и 8,17-40% с повышением соотношения $\text{Et}_2\text{NH} : \text{H}_2\text{SO}_4$ значения минимума рН увеличиваются от 0,00 до 8,17. Изменение рН системы зависит от значений рН исходных компонентов ($\text{Et}_2\text{NH} - 9$ и $\text{H}_2\text{SO}_4 - 0,1$) и образования новых соединений.

Для определения физико-химических свойств системы $\text{Et}_2\text{NH}-\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}$, в частности плотности и вязкости, полученные данные изображены в виде номограмм (рис. 1).

Значениям минимума соответствуют чистые диэтиламингидро-сульфат и диэтиламин сульфата, а максимуму - их смеси. На рисунке 1 представлены номограммы для определения плотности системы для $\text{Et}_2\text{NH}-\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}$ при температурах 20 и 40 °С.

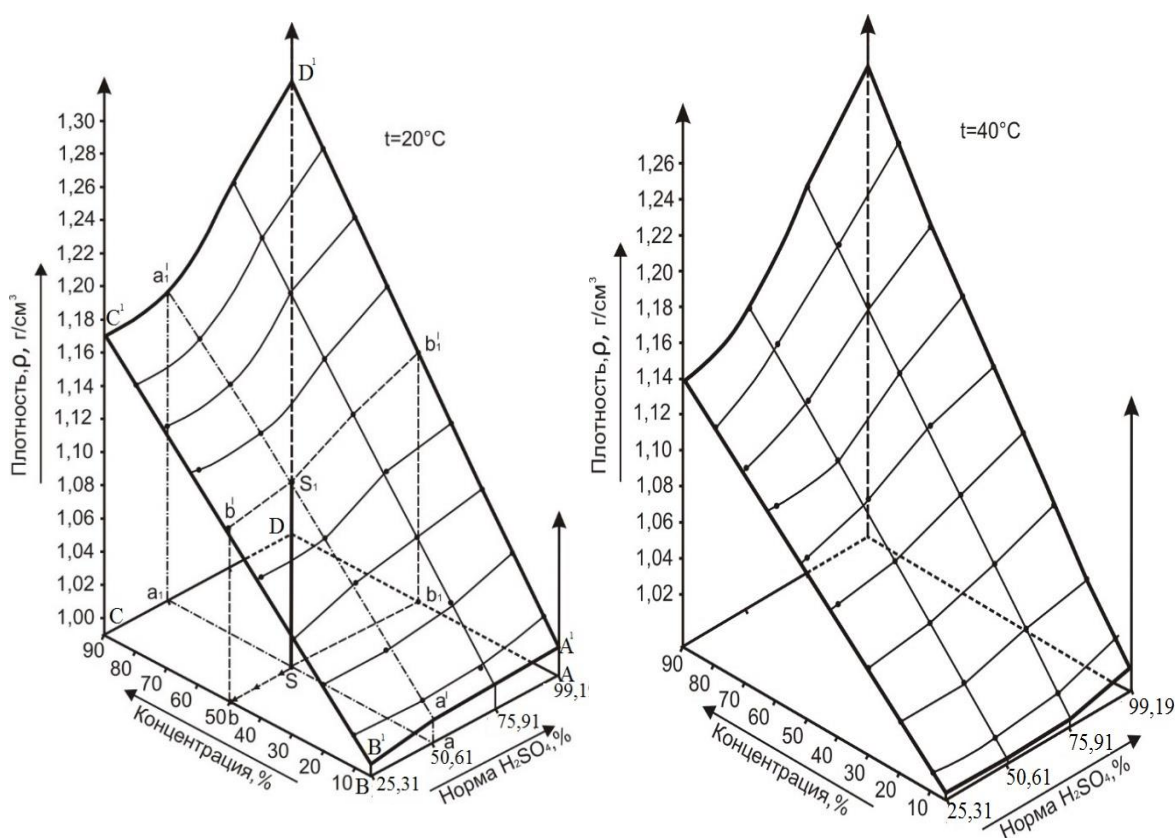


Рисунок 1 – Номограмма для определения плотности системы $\text{Et}_2\text{NH}-\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}$ в зависимости от соотношения $\text{Et}_2\text{NH}-\text{H}_2\text{SO}_4$ и концентрации раствора при 20 и 40°С

Данные номограммы путем геометрических построений позволяют быстро и точно определить плотность системы в зависимости от заданных параметров. Например, дана система, которая имеет соотношение $\text{Et}_2\text{NH}:\text{H}_2\text{SO}_4$, концентрацию и температуру 1,5:1, 50% и 20°С соответственно. Для определения плотности системы используется номограмма при 20°С (рис.1). От точек *a* и *b* проводим параллельные

линии к координатам концентрации и соотношения $\text{Et}_2\text{NH}:\text{H}_2\text{SO}_4$, и находим точки a_1 и b_1 . От точек a , a_1 и b , b_1 проводим перпендикуляр к плотности АВСД параллельно к координате плотности до пересечения с плотностью системы $A^1B^1C^1D^1$ и находим точки a^1 , a_1^1 и b^1 , b_1^1 . От точки пересечения S линий a и a_1 и b и b_1 проводим перпендикуляр к плотности АВСД, параллельной координате плотности до пересечения с кривой b^1 , b_1^1 и находим точку S^1 . Отрезок SS^1 является искомым значением плотности системы при заданных условиях, отсюда находим, что плотность системы равна $1,102 \text{ г/см}^3$.

Проведенными исследованиями процесса сернокислотной экстракции хлорида калия в присутствии диэтиламина установлено, что с увеличением соотношения $\text{Et}_2\text{NH}:\text{H}_2\text{SO}_4$ рН системы $\text{Et}_2\text{NH}-\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}$ повышается от 7,8 до 8,93.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработаны номограммы, позволяющие по исходным температуре и концентрации без лабораторного анализа быстро и точно определить показатель светопреломления и плотность системы $\text{Et}_2\text{NH}-\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wasag T. Zastosowanie amin do produkcji weglanow alkalicznych / T. Wasag, T. Wasag, G. Poleszczuk // Chemik. – 1976. – Vol. 29, № 9. – P. 293 – 297.
2. Mazunin S.A. Chechulin V.L. Prikladnye aspekty ispolzovaniya aminov dlya proizvodstva neorganicheskikh soley v sistemakh s vysalivaniem / Ximicheskaya promyshlennost. – Sankt-Peterburg. – 2010. – P. 170-179.
3. Mazunin S.A., Chechulin V.L. Vo'salivanie kak fiziko-ximicheskaya osnova malo'txodno'x sposobov polucheniya fosfatov kaliya i ammoniya: monografiya / S.A. Mazunin, V.L. Chechulin; Perm. gos. nats. issled. un-t. – Perm, 2012. – 114 p.
4. Eshmetova D.Z., Djandullaeva M.S., Bobokulov A.N., Toirov Z.K., Erkaev A.U., Xazratova Sh. Izuchenie protsesssa konversii xlorida kaliya v prisutstvii dietilamina // UNIVERSUM. Technical science. – 2021. – № 2(83). – P. 77-82.
5. Bobokulov A.N., Erkaev A. U., Toirov Z.K., Kucharov B.X. Research on the Carbonization Process of Potassium Chloride Solutions in the Presence of Diethylamine // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), V-8 Issue-9S2, July 2019.

ПЕРЕРАБОТКА НИЗКОСОРТНЫХ СИЛЬВИНИТОВ ТЮБЕГАТАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Тюбегатанское месторождение калийных солей расположено в Дехканабадском районе Кашкадарьинской области, в 75 км к югу от г. Гузар и приурочено к юго-западным отрогам Гиссарского хребта. Месторождение расположено на границе Узбекистана и Туркменистана и разделяется пограничной рекой Шордарья [1].

Тюбегатанское месторождение имеет повышенное содержание низкосортного сильвинита. В этой части ареала верхнеюрская галогенная формация имеет трехчленное строение. В основании ее залегает ангидритовая толща, мощностью от 156 до 420 м. Она образует с подстилающими ангидритами то редкие контакты, то постепенные переходы в виде переслаивания ангидритов и ангидритогалитовой породы с каменной солью. Верхняя часть соляной толщи калиеносная. Перекрывается соляная толща пластом глинистых ангидритов, мощностью от I до 10-15 м. Повышенное содержание низкосортного сильвинита приводит к низкому показателю качества продукта и коэффициента извлечения основного компонента – хлорида калия, а также трудности управления технологическими процессами.

В связи с этим проблема переработки низкосортного сильвинита Тюбегатанского месторождения является актуальной для калийного предприятия.

Переработка сильвинитовых руд на хлористый калий, наряду с флотационным способом, основном осуществляется методом галургии. Этот способ разделения основных компонентов сырья - KCl и $NaCl$, основан на различии в температурных коэффициентах растворимости этих солей в воде [2]. Применение галургического метода позволяет в большинстве случаев значительно повысить эффективность переработки низкосортных калийных руд [3].

С целью более эффективного извлечения хлорида калия и повышения качества хлорида калия из исходного сырья была изучена растворимость низкосортных сильвинитов Тюбегатанского месторождения в воде. Ниже приведен минералогический состав исходного сырья.

Эксперименты проводились следующим образом. Были взвешены навески в количестве по 20, 40, 60, 70, 80, 100г. Для растворения образцов в термостойкую колбу ёмкостью 250 мл наливали 100мл во-

ды, добавляли рассчитанное количество образца и в течение 5 мин перемешивали с помощью магнитной мешалки.

Таблица – Минералогический состав исходного сырья

№	Наименование образца	Содержание, мас. % :				
		KCl	NaCl	MgCl ₂	CaSO ₄	Н.о.
1.	Низкосортный сильвинит	20,6	68,3	1,51	0,88	8,37
2.	Ангидрид	10,32	75,73	2,7	3,9	12,56

Колба нагревалась с помощью плитки до температуры 100⁰С. Горячий раствор отфильтровали и в течение 15 минут охлаждали до 20, 30 и 40⁰С. В процессе охлаждения выпадали белые прозрачные кристаллы. Осадок отфильтровали на воронке Бюхнера с диаметром 93мм под разряжением 0,5 кгс/см². Время фильтрации фиксировалось.

По результатам исследования, при массовом соотношении Т:Ж равном 20:100 и 40:100 не зависимо от температуры охлаждения не образуются кристаллы. При увеличении массового соотношения Т:Ж до 60:100, 70:100, 80:100 и 100:100 при охлаждении образуются кристаллы.

Как показывают результаты исследования, при снижении температуры охлаждения увеличивается количество выпавших кристаллов. Так например, при массовых соотношениях сильвинита и воды равных 70:100 и 80:100 при температуре 20⁰С выпали в осадок кристаллы в количестве 8,935г и 10,5г соответственно. С повышением температуры до 30⁰С количество выпавшего осадка уменьшается до 5,89 и 8,32 г соответственно. Такая же закономерность наблюдается и при массовом соотношении 100:100.

С увеличением массового соотношения сильвинита и воды увеличивается количество выпавшего осадка. Наибольшее количество кристаллов выпадает при массовом соотношении Т:Ж, равном 100:100 при температуре охлаждения 20⁰С.

Таким образом, с понижением температуры охлаждения и увеличением массового соотношения сильвинита и воды количество выпавших кристаллов увеличивается.

Анализ результатов исследований показывает, что количество калия в шламе достигает 2,3-2,65%, а натрия 20,01-25,10%.

Через 2-6 циклов маточный раствор упаривают и отделяют пищевую соль с диаметрами частицы ≤ 0,5 мм. А при использовании сильвинита с содержанием ≤ 11,0% KCl и ≥ 6,0-10,0% н.о. маточный раствор после отделения нерастворимой части упаривают с отделением чистого хлорида натрия и от оставшегося маточного раствора кристаллизуется хлорид калия.

Таким образом, на основе низкосортных сильвинитов с содержанием 3,5-5,5% н.о. и до 24% KCl и даже сильвинитов ангидридного слоя можно организовать производство пищевой соли и хлорида калия галургическим способом. Данное производство также можно организовать вблизи карьера с использованием рассолов карьера бассейнным способом.

ЛИТЕРАТУРА

1 Седлецкий В.И. Прогноз калиености Верхнеюрской и нижнемелевой галогенных формаций юга Средней Азии. – Геология и условия образования месторождений калийных солей. Л.: ВНИИГ, 1982 г.

2 Кодиров К.Й, Адилова М.Ш., Рахматов Х.Б., Эркаев А.У. Получение кристаллического хлорида калия галургическим способом из пылевой фракции флотационного продукта ДЗКУ. Научно - технический и производственный журнал. 2014. – № 4.

3 Ибрагимов Г.И., Эркаев А.У., Якубов Р.Я., Туробжонов С.М. Калий хлорид технологияси. – 2010. – 200 с.

УДК: 661.634.222

Ф.Г. Пирназаров, докторант;
Ф.Э. Умиров, проф.; Ш.А. Болтаев, магистр
(Навоийский ГГИ, г. Навои, Республика Узбекистан)

ПОЛУЧЕНИЕ ХЛОРИДОВ КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ ИЗ УЧТУТСКОГО САПОНИТА

На сегодняшний день особое внимание в мировой практике уделяется разработкам технологии получения чистых солей и оксида магния с вовлечением в производство имеющихся сырьевых источников в виде рассолов соляных озер, морской воды и природных залежей. В этом аспекте, важной задачей является разработка технологии получения хлористого магния из руды Учтутского сапонита, находящегося в Навоийской области Республике Узбекистане. Для разработки технологии переработки сапонита требуется обосновать ряд научных решений, в том числе по следующим направлениям: разработка эффективного метода получения насыщенных, очищенных от сопутствующих примесей растворов хлористого магния из сапонита, переработка очищенных растворов на хлористый магний, разработка технологии получения бишофита.

Хлористый магний применяется в химической, легкой, энергетической (присадки к высокосернистым мазутам, сжигаемым ТЭЦ) промышленности, в строительстве, медицине (бальнеотерапевтиче-

ское средство), как сырье для получения металлического магния. Служит одним из видов сырья для получения магнезии, применяется в качестве аппаратуры в текстильной промышленности и для пропитки деревянных конструкций с целью придания им огнестойкости, для получения удобрение и дефолиантов; его растворы применяют в качестве антифриза для предупреждения замерзания стрелок на железнодорожных путях.

Сапонит используется в медицине, пищевой, химической, легкой промышленности и сельском хозяйстве. Он является идеальной добавкой в комбикорма для КРС, свиней, птиц и других животных. Используется в производстве БАД, способствует улучшению качеств почвы, повышению урожайности зерновых, увеличивает срок хранения урожая и др.

В Узбекистане имеются десятки месторождений доломита, среди них большой практический интерес представляет месторождение «Учтут» в Навоинской области, Предварительные оценки месторождения, проведенные научно-производственным центром «Монолит-98» показали, что запасы с содержанием MgO -21,5% более 4,5 млн. т, кварц-полевошпатовых песков - более 7,0 млн.т, а бентонитовых глин - более 10,0 млн. т., из них сапонит составляет около 1,0 млн.т. Под почвенными грунтами, толщина которого составляет около 20-35 см находится слой доломита, с высотой около 160-185 см. В некоторых местах суживается до 1 м, а в некоторых составляет более 2 м. В этом слое доломита обнаружены 2 розовые прослойки минерала сапонита. Толщина верхнего слоя составляет 5-7 см, нижнего более 12 см. В этом слое доломита обнаружены 2 розовые прослойки минерала сапонита. Толщина верхнего слоя составляет 5-7 см, нижнего более 12 см.

Из таблицы 1 видно, что в химическом составе сапонита содержатся оксиды железа, алюминия и др. оксиды металлов. Поэтому разделение или осаждение этих металлов и получение кальция и магния очень актуально. Опыты проводили на природном глинистом минерале, модифицировали обработкой 31%-м раствором соляной кислоты. Для этого навеску сапонита в стеклянной колбе заливали раствором соляной кислоты. Полученную смесь периодически перемешивали в течение 2 часа.

Количество раствора соляной кислоты выбирали, руководствуясь следующими соображениями. Во-первых, необходимо, чтобы кислота полностью прореагировала с сапонитом. Во-вторых, обработанной кислотой сапонит не должен подкислять равновесную жидкую фазу до значений $pH < 5$, что соответствует требованиям. Поэтому изучено соляно кислотное разложение сапонита, результаты представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Химический состав образца сапонита (мас. %)

Наименование проб	Элементный состав сапонитовых руд, %									
	CaO	MgO	SiO ₂	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	Орг. смесь.
<i>Исходный сапонит</i>										
Верхний слой	32,4	23,5	22,1	8,8	0,14	5,11	1,7	0,22	3,40	2,67
Нижний слой	31,3	23,4	21,2	9,1	0,13	5,02	1,8	0,18	3,28	4,52
<i>Модифицированный сапонит</i>										
Верхний слой	17,8	19,9	19,9	3,52	0,11	1,22	1,36	0,14	3,06	4,97
Нижний слой	17,2	20,1	20,1	3,64	0,10	1,12	1,44	0,12	2,9	7,19

Таблица 2 – Солянокислотное разложение Учтутского сапонита в зависимости от температуры

Норма 31%-ной HCl, %	Температура, °C	pH	d г/см ³	η, мм ² /с
<i>I ступень</i>				
35	40	4,25	1,82	23,79
40	40	4,22	1,77	22,90
35	50	4,31	1,84	23,68
40	50	4,28	1,78	22,83
<i>II ступень</i>				
65	40	2,60	1,60	12,70
60	40	2,40	1,57	12,62
65	50	2,60	1,59	12,68
60	50	2,40	1,56	12,52

Таким образом, предварительная обработка сапонита соляной кислотой имеет практическое значение, поскольку позволяет удалить некоторые металлы, поддерживая значение этого показателя в регламентируемых нормативными документами пределах.

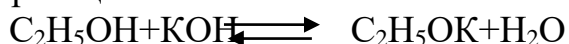
Обработка сапонита соляной кислотой при pH и температуре равновесных растворов в кислую область позволяет достичь значительного увеличения образования хлорида-ионов, что является важным преимуществом модифицированного сапонита по сравнению с природным.

Б.Б. Туракулов, А.У. Эркаев, Ф.Б. Чавлиева,
А.Н. Бобокулов, Б.Х. Кучаров (ТХТИ, г. Ташкент);
Л.С. Ещенко (БГТУ, г. Минск)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГИДРОКСИДА КАЛИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДИАГРАММЫ РАСТВОРИМОСТИ СИСТЕМЫ C₂H₅ОН- КОН-Н₂O

Из литературных данных известно, что растворимость КОН в этиловом спирте при 18-20°C составляет 37г/100г. Это показывает, что гидроксид калия можно экстрагировать из сложных водных солевых систем, состоящих из Ca(OH)₂, CaCO₃, K₂CO₃, поскольку их растворимость в растворах этилового спирта при 60-97 °C не превышает 0.03-0.05%.

Процесс растворения гидроксида калия в этиловом спирте протекает по обратимой реакции:



Простой калиевый эфир коричневого цвета является неустойчивым, который при нагревании в водном растворе разлагается с образованием исходных компонентов.

Анализ диаграммы растворимости системы C₂H₅ОН- КОН- Н₂O, являющейся физико – химической основой получения гидроксида калия, позвалим установить оптимальные технологические параметры процесса, обеспечивающие максимальный выход продукта. Установлено соотношение виды и спирта, при котором в жидкой фазе наблюдается максимальная растворимость гидроксида калия.

Определены реологические свойства и показатели светопреломления образующихся жидких фаз в зависимости от технологических параметров.

В наших исследованиях растворимость системы C₂H₅ОН-КОН-Н₂O, являющейся физико – химической основой получения КОН, изучали в изотермических условиях в герметически закрытых фторопластовых реакторах при избытке твердофазного гидроксида калия в атмосфере газообразного азота.

На основании литературных и экспериментальных данных были построены политермы растворимости системы C₂H₅ОН-КОН-Н₂O (рис.), которые показали образование двух слоев (нижний и верхний) при повышении содержания воды.

С повышением температуры содержание КОН в нижнем слое повышается до 31,2 – 63,0 %, а содержание спирта снижается до 0,9-9.8%.

Таблица – Влияние технологических параметров процесса экстракции на выход гидроксида калия

№	Норма известкового молока, %	Температура конверсии, °С	Соотношение H ₂ O : K ₂ CO ₃ :CaO			Продолж. конверсии, мин	Соотношение пульпа : спирт	Продолж. экстракции, мин	Скорость фильтрации, кг/м ² ·ч		Влаж. т/ф, %	Т:Ж	KOH, %	Выход K ₂ O, %
									Т/Ф	Ж/Ф				
1.	100	100	1,85	1,85	1	60	1 : 2	15	272,7	1263,2	9,62	1:4,95	32,6	55,8
2.	110	100	2	2	1	60	1 : 2	15	272,9	1194,2	10,1	1:3,3	41,3	56,6
3.	110	100	2	2	1	120	1 : 2	15	252,2	1214,5	9,91	1:5,6	40,6	58,8
4.	110	100	2	2	1	180	1 : 2	15	267,7	1034,4	9,71	1:4,96	46,5	51,4
5.	110	100	3	2	1	120	1 : 2	15	283	1751,4	9,57	1:6,95	33,8	54,0
6.	110	100	2	2	1	120	1 : 1,5	15	328,5	1259,7	10,3	1:3,2	45,2	60,3
7.	110	100	2	2	1	120	1 : 1	15	332,3	1092,6	9,94	1:2,6	49,1	62,5
8.	110	70	2	2	1	120	1 : 1,5	15	355,8	1064,7	10	1:3,44	39,8	48,9
9.	110	85	2	2	1	120	1 : 1,5	15	355,1	1151,9	9,98	1:3,4	42,5	53,3
10.	110	100	2	2	1	120	1 : 1,5	5	374,2	1093,7	9,5	1:3,33	38,4	50,5
11.	110	100	2	2	1	120	1 : 1,5	45	377	1127	9,2	1:3,4	39,2	55,7

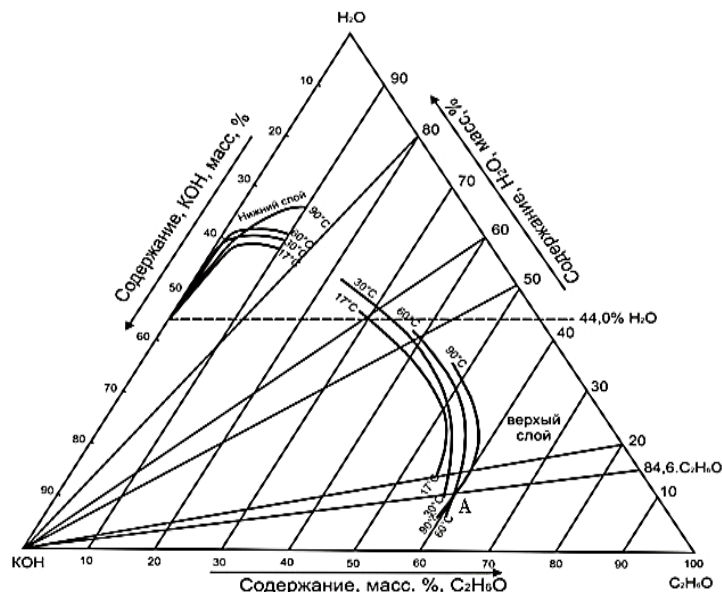


Рисунок – Политерма системы $C_2H_5OH-KOH-H_2O$

Содержание гидроксида калия и этилового спирта в нижнем слое колеблется в интервалах 31,20-63,55 и 0,90-10,13%, соответственно. В верхнем слое эти показатели составили 18,50 – 31,08 и 21,60-60,50% соответственно.

Температура влияет на состав верхнего слоя по-другому, чем в нижнем слое, с повышением которой содержание KOH и этилового спирта увеличивается до 35,08 и 60,40% соответственно при 90⁰С, тогда как при 17⁰С до 30,0 и 45,60%. Необходимо отметить, что при повышении концентрации используемого водного раствора этилового спирта более 80% влияние температуры нивелируется. Кривые изотермы растворимости при температурах 60 и 80⁰С пересекаются в фигуративной точке А, при концентрации спирта 89⁰С.

Таким образом, установлено, что при соотношения $H_2O:спирт=20-1:80-99$ в жидкой фазе наблюдается максимальная растворимость гидроксида калия в интервалах температуры 60-80⁰С, при которой жидкая фаза после отделения твердой фазы объединяется с чистым гидроксидом калия после ректификации этилового спирта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Туракулов Б.Б., Кучаров Б.Х., Эркаев А.У., Тоиров З.К., Реймов А.М. Усовершенствование производства гидроксида калия известковым способом // UNIVERSUM: Технические науки. – 2017. – № 10(43).

2. Патент RU 2064432 С 01 D 1/04. Способ получения чистого гидроксида калия / Канель М.З., Коноплев Е.В., Шестеркин И.А. и др. – Заявл. 02.09. 1992; опубл. 27.07.1996.

Х.Б. Мажидов, магистр;
Т.И. Нурмуродов, доц., д-р техн. наук;
Н.И. Хуррамов, ст. преп.
(Навоийский ГГИ, г. Навои, Республика Узбекистан)

ИЗУЧЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УПАРЕННОЙ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ НЕОБОЖЖЕННОГО МЫТОГО ВЫСУШЕННОГО КОНЦЕНТРАТА

Фосфорная кислота широко применяется в химической и других отраслях промышленности. Для получения минеральных удобрений и фосфорсодержащих солей необходимо экстракционная фосфорная кислота (ЭФК) [1]. Сегодня на большинстве производств возникает проблемы очистка экстракционной фосфорной кислоты. Также актуальным является повышение концентрации кислоты [2]. Для решения таких проблем ведётся научно-исследовательская работы.

С целью решения данных проблем нами исследованы реологические свойства полученной ЭФК при упаривании в интервале температуры 20–80 °С и различных соотношениях концентрации P_2O_5 . Концентрация P_2O_5 в жидкой фазе варьировалась в интервале 16,5–45%, характеризующая образующуюся суспензию в результате упарки (табл.). Измерение плотности и вязкости суспензии проводили в диапазоне температур 20-80°С путем нагревания до заданной температуры.

Таблица – Реологическая свойства ЭФК в зависимости от температуры и концентрации

№	P_2O_5	Плотность, г/см ³				Вязкость, сПз (сек)			
		20 °С	40 °С	60 °С	80 °С	20 °С	40 °С	60 °С	80 °С
1	16,5	1,242	1,235	1,232	1,239	4,501	3,683	3,097	2,886
2	25	1,399	1,393	1,390	1,405	7,188	5,348	4,577	4,289
3	35	1,546	1,540	1,534	1,5600	14,627	9,120	6,827	5,500
4	45	1,723	1,706	1,703	1,698	55,945	28,185	16,459	10,931

Анализ полученных данных показал, что со снижением температуры от 80 до 20°С, увеличением концентрации P_2O_5 от 16,5 до 45%, плотность и вязкость суспензии монотонно увеличивается. При этом в интервалах концентрации P_2O_5 от 16,5 до 45 % и температуре от 80 до 20°С плотность полученной из НМСК концентрированной ЭФК находится в пределах 1,239–1,723 г/см³, а вязкость – 2,886–55,945 сПз.

Скорость фильтрации суспензии, образующейся в процессе упарки ЭФК, показала, что при основной фильтрации с повышением концентрации P_2O_5 от 16,5 до 45 % скорость фильтрации по осадку

и фильтрату повышается.

Для наглядного представления зависимости параметров, получены данные изображены в виде номограммы (рис.). Данные номограммы позволяют определить содержание P_2O_5 в продуктах с изменением их плотности и вязкости при определенных температурах. Данная номограмма пригодна в интервалах варьирования P_2O_5 и температуры при более широких изученных интервалах.

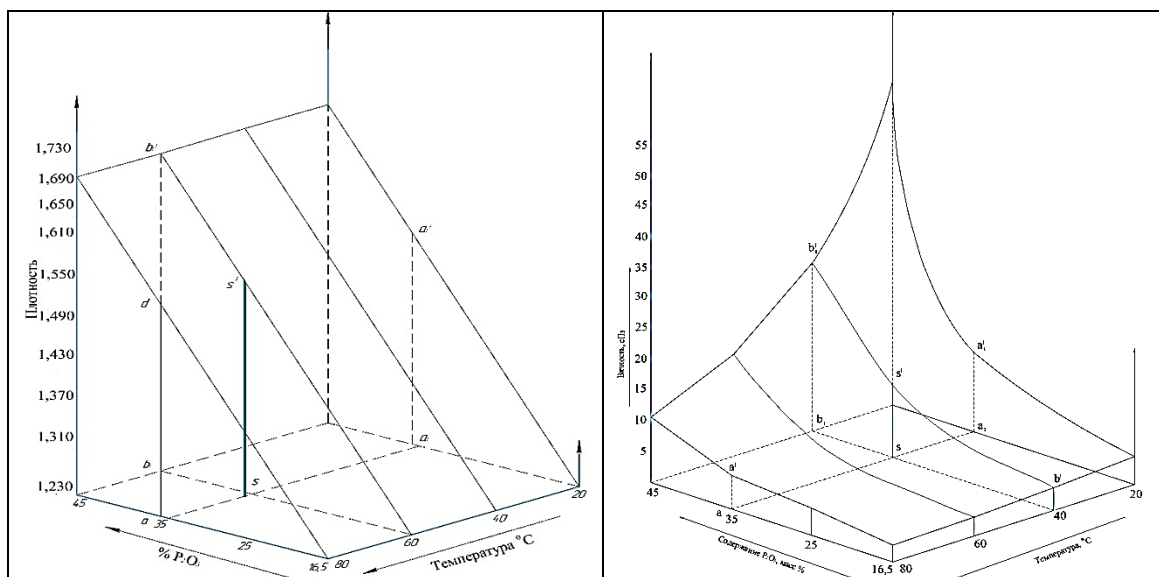


Рисунок – Номограмма определения плотности и вязкости упаренной ЭФК, полученной из НМСК, в зависимости от содержания P_2O_5 в продуктах и их температуры

Можно увидеть, что вязкость при повышении концентрации и температуры повышалась от 4,501 до 55,945 сПз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хуррамов Н.И., Нурмуродов Т.И., Эркаев А.У. Исследование процесса получения экстракционной фосфорной кислоты из мытых высушенных фосфоритов // *Universum: технические науки : электрон. научн. журн.* – 2021. – 2(83).
2. Нурмуродов Т.И. Турсунова С.У. Хуррамов Н.И. Утамуродов Э.А. Исследование очистки экстракционной фосфорной кислоты, полученной из фосфоритов Центральных Кызылкумов // *Universum: технические науки : электрон. научн. журн.* – 2018. – № 7 (52). – С. 43-46.

ВЛИЯНИЕ ПРОМЫВНОГО РАСТВОРА НА ПРОЦЕСС ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ГИДРОКСИДА КАЛИЯ ИЗВЕСТКОВЫМ СПОСОБОМ

Гидроксид калия применяется для производства удобрений, синтетического каучука, пластмасс, электролитов для аккумуляторов, реактивов, ксантогенатов, выщелачивания отливок стального литья, поддержания в заданных пределах щелочности буровых растворов, в производстве биодизельного топлива в качестве катализатора, используется в фармацевтической промышленности и других отраслях экономики.

Процесс каустификации для получения гидроксида калия проводили в лабораторном цилиндрическом реакторе с мешалкой в течение 90 минут. Максимальная температура достигает 95°C.

После окончания процесса каустификации образующаяся суспензия на лабораторной фильтровальной установке разделялась на жидкую (раствор КОН) и твердую (осадок CaCO_3) фазы.

Было изучено (табл.) влияние количества и концентрации промывных вод при трехкратной промывке осадка на скорость фильтрации в стадии промывки и степень промывки осадка относительно КОН в сухом осадке. Количество промывных вод варьировали по Т:Ж при отношении к сухому осадку 1:1,5, 1:2,5 и 1:3,5, концентрацию промывных вод по КОН варьировали в пределах 6–18, 1–6% на первой и второй стадии промывки соответственно. В конечной третьей стадии использовали чистую воду.

Из табл. видно, что скорость фильтрации повышается с увеличением стадий промывки. Например, при Т:Ж = 1:1,5 на первой стадии скорость фильтрация повышается от 250 до 560 $\text{кг/м}^2 \cdot \text{ч}$.

Эта закономерность практически сохраняется для всех опытов, но значения скорости фильтрации, отличаются, особенно при Т:Ж = 1:3.

Со снижением соотношения Т:Ж = от 1:1,5 до 1:3 при одинаковых условиях промывки содержание КОН в осадке после третьей промывки снижается (таблица).

Очень важным является максимально полная отмывка осадка от продукционного гидроксида калия, так как от этого зависит производительность всей установки.

Таблица – Влияние количества и концентрации промывного раствора на технологические показатели процесса фильтрации

№	Показатель промывки	Степень промывки, %					
		1		2		3	
		по жидкой фазе	по твердой фазе	по жидкой фазе	по твердой фазе	по жидкой фазе	по твердой фазе
Т:Ж = 1:1,5							
1.	Концентрация промывного раствора, %	18		6		0	
	Скорость фильтрации, кг/м ² ·ч	788,2	543,4	1006,6	581,8	1565,4	887,4
2.	Концентрация промывного раствора, %	9		3		0	
	Скорость фильтрации, кг/м ² ·ч	1312,8	985,4	1779,5	1075	1791,4	1078,0
3.	Концентрация промывного раствора, %	6		1		0	
	Скорость фильтрации, кг/м ² ·ч	1413,8	1077,6	1585	1020,4	1791,4	1078,0
Т:Ж = 1:2,5							
4.	Концентрация промывного раствора, %	18		6		0	
	Скорость фильтрации, кг/м ² ·ч	774,7	282,6	958,8	345,2	1313,7	509,0
5.	Концентрация промывного раствора, %	9		3		0	
	Скорость фильтрации, кг/м ² ·ч	909,5	324,3	1168,4	417,8	1387,9	534,3
6.	Концентрация промывного раствора, %	6		1		0	
	Скорость фильтрации, кг/м ² ·ч	925,7	333,4	1248,1	452	1549,7	573,3
Т:Ж = 1:3,5							
7.	Концентрация промывного раствора, %	18		6		0	
	Скорость фильтрации, кг/м ² ·ч	715,5	184,8	930,2	235,5	1146,9	295,4
8.	Концентрация промывного раствора, %	9		3		0	
	Скорость фильтрации, кг/м ² ·ч	916,2	231,7	1127,9	279,9	1599,5	405,6
9.	Концентрация промывного раствора, %	6		1		0	
	Скорость фильтрации, кг/м ² ·ч	974,00	249,7	1202,4	303,4	1705,6	436,3

Полученные экспериментальные данные показывают, что максимальная скорость фильтрации достигается при соотношении Т:Ж = 1:1,5 и концентрации промывного раствора до 9%. В этом случае скорость фильтрации по жидкой фазе составляет 1312,8 – 1791,4 кг/м², а по твердой фазе – 985,4 – 1078 кг/м². Данные также показали, что для практически полной отмывки осадка от гидроксида и карбоната калия оптимальным является трехкратная промывка.

По результатам химического анализа наличие в осадке гидроксида калия не обнаружено, а карбонат калия присутствует в количестве 0,07 – 0,26 %.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что максимальную скорость фильтрации имеют суспензии при содержании в жидкой фазе 5–10 % гидроксида калия, соотношении Т:Ж = 1:1,5 и концентрации промывного раствора до 9%. При этом достигается максимальная скорость фильтрации по жидкой фазе - 1312,8–1791,4 кг/м², а по твердой фазе – 985,4–1078 кг/м². Установлено, что для практически полной отмывки осадка от гидроксида и карбоната калия оптимальным является трехкратная промывка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Туракулов Б.Б., Кучаров Б.Х., Эркаев А.У., Тоиров З.К., Реймов А.М. Усовершенствование производства гидроксида калия известковым способом // UNIVERSUM: технические науки. – 2017. № 10(43).

2. Патент RU 2064432 С 01 D 1/04. Способ получения чистого гидроксида калия / Канель М.З., Коноплев Е.В., Шестеркин И.А. и др. – Заявл.02.09.1992; опубл. 27.07.1996.

3. Патент РФ 1562805 с 01D1/32. Способ очистки раствора гидроксида калия / Филотова Л.Н., Волводов А.И., Вендило А.Г. и др. – Заявл. 01.11.2010; опубл. 27.03.2012.

4. Schmidl, W., Ball, A.R., Frederick Jr., W.J., DeMartini, N., Experimental Determination and Modeling of potassium hydroxide Solubilities in High Solids Kraft Black Liquor - Accepted for Presentation at the 2003 TAPPI Fall Technical Conference. P.5-13.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА УПАРКИ МАТОЧНЫХ РАСТВОРОВ ПРОИЗВОДСТВЕ БИКАРБОНАТА КАЛИЯ АМИННЫМИ СПОСОБАМИ

Перспективы применения карбонатов калия, в особенности как бесхлорного калийного минерального удобрения, создают определенные условия организации их производства в Узбекистане. В настоящее время в Узбекистане отсутствует производство карбонатов калия, хотя в стране имеются месторождения местного калийсодержащего сырья, который даст возможность получать собственный карбонат калия [1].

Известно, что в производстве карбоната калия аминным способом на первой стадии в процессе карбонизации в присутствии хлорида калия и ДЭА в твердой фазе образуется бикарбонат калия, а в жидкой фазе остается не прореагировавшая часть хлорида калия и ДЭА, а также образуется диэтиламин гидрохлорид.

Как показывают экспериментальные данные, хлорид калия полностью не превращается в бикарбонат калия при степени конверсии не более 90%. Остаток хлорида калия из фильтрата можно отделить путем упарки исходного маточного раствора состава, мас. %: H_2O – 41,95, KHCO_3 –4,12, $\text{Et}_2\text{NH}_2\text{Cl}$ –34,93, $\text{Et}_2\text{NH}_2\text{HCO}_3$ –20,53, который на диаграмме растворимости системы $\text{Et}_2\text{NH}_2\text{Cl}$ - KCl - H_2O (рис.1) соответствует фигуративной точке А. Процесс испарения протекает по лучу VL_2 . Из диаграммы также видно, что максимальную степень испарения необходимо продолжать до точки L_1 , которая обеспечивает максимальное осаждение остатка хлорида калия, который равен $m_{\text{KCl}}/m_{\text{жид}}(v_2)=L_1v_2/L_1C$; в случае продолжения процесса упарки в твердую фазу выпадает смесь кристаллов хлорида калия и хлорида N,N – диэтиламмония хлорида. После отделения твердой фазы образуется жидкая фаза состава, мас. %: 30,19 H_2O , 69,60 $\text{Et}_2\text{NH}_2\text{Cl}$, и 0,24 KCl , а карбонаты практически полностью разлагаются с выделением в газовую фазу и далее конденсации с образованием бикарбоната N,N – диэтиламмония.

В стадии дистилляции можно использовать известковое молоко с концентрацией 17, 30 и более 86%. В этом случае при использовании $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с нормой 110% относительно хлора, в первую очередь, он расходуется на реакцию с карбонатами калия и бикарбонатами N,N – диэтиламмония хлорида с образованием карбоната кальция, после чего он реагирует с хлоридами N,N – диэтиламмония с образованием хлорида кальция и диэтиламина.

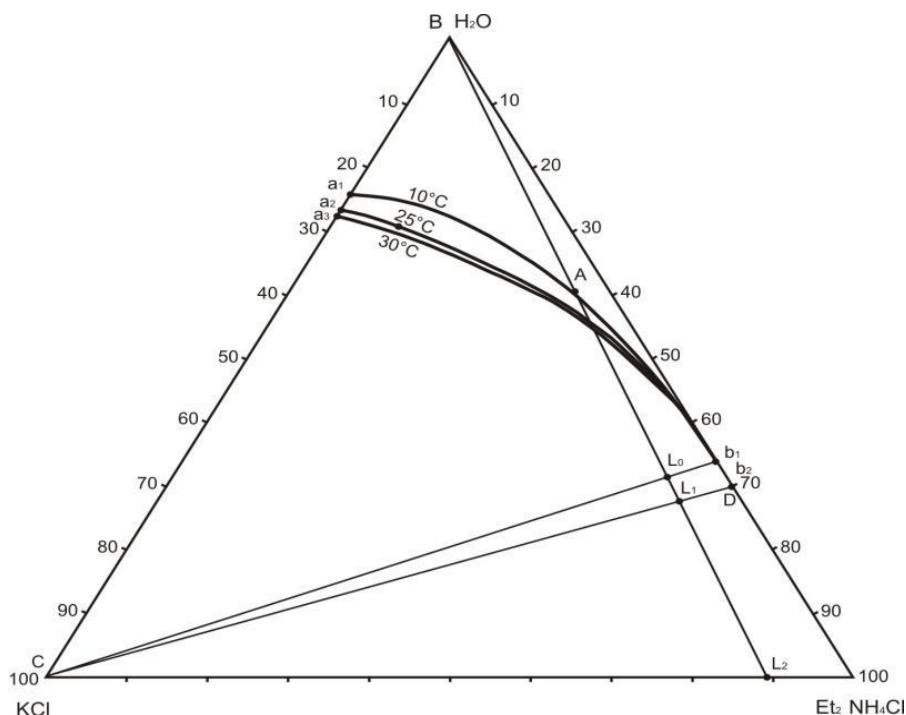


Рисунок 1 – Теоретический анализ процесса упарки маточных растворов с применением системы KCl – Et₂NH₂Cl – H₂O

В результате этих реакции в системе образуются суспензии с Ж:Т 10,5:4,01-1, содержащие KCl и CaCl₂, содержание которых зависит от концентрации используемого Ca(OH)₂. Составы жидкой фазы нанесены на диаграмму растворимости системы CaCl₂-KCl-H₂O (рисунок 2), которые находятся на фигуративных точки A, A₂ и A₃. Фигуративные точки A₁ и A₂ находятся в области ненасыщенных растворов, а фигуративная точка A₃ в области совместной кристаллизации кристаллов хлорида калия и шестиводного хлорида кальция. От этих фигуративных точек проводили луч испарения BL₃.

Диаграмма показывает, что при упарке до точки L₂ даже при 100°C выпадает незначительное количество кристаллов хлорида калия с соотношением Т/Ж=0,023.

Результаты экспериментов показали, что при необходимости выделения остатка хлорида калия из маточных фильтратов необходимо провести процесс упарки фильтрата перед дистилляцией диэтиламина в присутствии известкового молока.

В экспериментах процесс упарки проводили с целью снижения расхода известкового молока и кристаллизации непрореагировавшего KCl с возвращением его в начало процесса для повышения коэффициента использования хлорида калия.

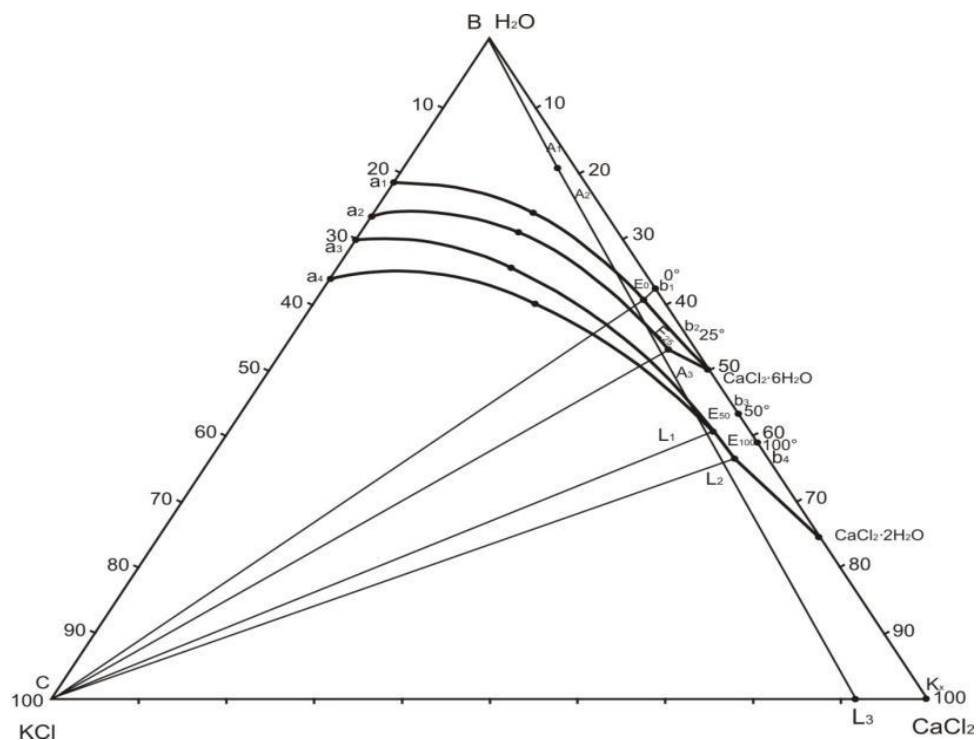


Рисунок 2 – Теоретический анализ процесса упарки жидкой фазы, образующейся после дистилляции маточных растворов с применением диаграммы растворимости KCl – CaCl₂ – H₂O

Анализ диаграммы растворимости системы KCl-Et₂NH₂Cl-H₂O показал, что для выделения непрореагировавшего хлорида калия, маточный раствор из исходного положения М упаривается до точки N с удалением 40% влаги относительно исходной массы.

При применении упаренной ДЭА степень выделения не превышает 26,88% относительно общей массы исходного упаренного раствора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобокулов А.Н., Тоиров З.К., Эркаев А.У. Исследование возможности получения карбоната калия на основе местных материалов аминным способом. «Умидли кимёгарлар-2021» Ёш олимлар, магистрантлар ва бакалаврият талабаларини XXX-илмий-техникавий анжуманининг мақолалар тўплами, Тошкент- 2021 й.

A.U. Samadov, Director, D-r of Technical Sciences;
Sh. I. Shonazarova, Assistant
(Almalyk branch of TSTU)

DETERMINATION OF THE DEGREE OF REGENERATION OF FLUORIDE AMMONIUM

Introduction. Currently, studies are underway in the world to extract useful components from off-balance gold and copper ores, as well as industrial waste in a number of priority areas, including: heap leaching for balance gold and copper ores; biotechnological method for processing dumps of sulfide ores; processing of zinc clinker plants; increasing the number of output as a result of ore beneficiation and processing of waste from gold mining factories.

To determine the degree of regeneration of ammonium fluoride formed during the separation of hexafluoride ammonium silicate (HFSA), the material balance of the separation process [1] is presented in Table 1.

Table 1 - The material balance of the process of separation of GFSA

Name	Arrival, kg	Name	Consumption, kg
Tails	100	$(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$,	187,8
Quartz	63,3	NH_3	71,7
Water	2	water	38 +2
NH_4F	234,2		
Other	34,7	other	34,7
Total:	334,2	Total:	334,2

Table 2 - The material balance of obtaining ammonium bifluoride

Name	Arrival, kg	Name	Consumption, kg
NH_4F	228,2	$\text{NH}_4\text{F} \cdot \text{HF} \cdot \text{H}_2\text{O}$	231,28
H_2O	850,9	H_2O	795,4
		NH_3	52,42
Total:	1079,1	Total:	1079,1

The obtained ammonium bifluoride is used for repeated fluorination. Further fluorination occurs according to equation (3.2).

Significance of the system. The objective of the invention is the additional extraction of gold from the tailings of ores and beneficiation products into commercial products by reducing the sorption activity of the solid phase by increasing the temperature of the pulp.

Determination of the yield of silicon dioxide. In doing so, we use the above equation. As a result of the interaction of a solution of ammonium hexafluorosilicate with ammonia water, silicon dioxide is formed. For a

more complete process, mixing is necessary.

During the experiments, a 15% ammonia solution with a density of 0.9390 g / cm³ was used, the flow rate of which is 524.3 ml of a 15% ammonia solution per 100 g. ammonium hexafluorosilicate. Stirred for 1 hour, then filtered, the precipitate was washed three times with 100 ml and the washings were mixed with the filtrate. The precipitate is dried at 150⁰C and calcined at 700⁰C after cooling, weighed. The results are presented in table 3.

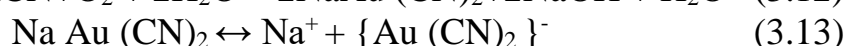
Table 3 - Experimental determination of the yield of silicon dioxide

Name	Experiences				
	1	2	3	4	5
(NH ₄) ₂ SiF ₆ , g	100	100	100	100	100
SiO ₂ , g	34	35	33,7	34	34

Methodology. In carrying out the work, complex research methods were used, including scientific generalizations, experimental studies in laboratory and industrial conditions for the processing of technogenic formations using inorganic acids and an oxidizing agent, as well as methods of mathematical statistics and correlation analysis of test results using modern computer technology.

Cyanide secondary cakes. After desiliconization, this product underwent cyanidation in order to isolate precious metals from it.

The essence of the cyanidation process lies in the fact that the crushed ore material containing gold is brought into contact with a solution of sodium cyanide, under the action of which gold passes from the ore into the solution. In the presence of oxygen, dissolution proceeds according to the following reaction:



Cyanidation tests of secondary cakes were carried out in the laboratory of the Chadaksky Mill, in bottles with a closed-type mixer with a capacity of 0.75 liters. The concentration of sodium cyanide and protective alkali was determined by titration with a solution of silver nitrate in the presence of indicators. Mixing was carried out on a mechanical mixer with air from the compressor.

The experimental results. Reagents and equipment The hardware scheme for processing gold-containing tailings consists of the following processes:

- 1 - ore opening process;
- 1- NH₄F loading unit;
- 1a - tail loading unit;

- 2– charge loading unit;
- 3-3a - fluorination apparatus (furnace);
- 3b - desublimation apparatus
- 4– dust collecting device (filter);
- 5– apparatus for capturing NH_3 , H_2O , HF (absorber);
- 2 - the process of purification of ammonia water and the regeneration of ammonium fluoride:
- 6 - apparatus for mixing the resulting products;
- 7 - filter;
- 8 - mold;
- 5 - apparatus for capturing NH_3 , H_2O ;
- 3 - deposition and filtration of silicon dioxide:
- 7 - filtering apparatus and deposition;
- 4 process of drying and calcining silicon oxide:
- 9 - drying apparatus;
- 10 - calcination apparatus.

Conclusion and future work. The obtained results of industrial tests of the developed method for extracting gold from gold-containing tailings. Gold from the extraction factories, allowed us to determine the main technological parameters of the process before extraction. The test results indicate a high degree of readiness of the developed fluoride technology for the integrated processing of the tailings of gold mining plants.

After analyzing every hour by the liquid phase for gold, we determined the kinetics of gold dissolution from secondary cakes.

Thus, to determine the degree of regeneration of ammonium fluoride formed during the separation of hexafluoride ammonium silicate, a material balance of the process is drawn up on the basis of which a technological scheme for producing silicon dioxide is proposed.

REFERENCES

1. Ernazarov M., Samadov A.U., Raimzhanov B.R., Sanakulov U.K. Development of a technology for the integrated processing of tailing dumps of gold mining plants. International scientific and technical conference “Problems and ways of innovative development of the mining and metallurgical industry” Collection of scientific articles Tashkent, 2014. – P. 156-159.
2. Lurie Yu.Yu. Handbook of analytical chemistry. 5th ed. reslave. and add. M.: Chemistry, 1979. – 480p.

ВЛИЯНИЕ АКРИЛОВОГО ГИДРОГЕЛЯ НА ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТЬ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В последнее десятилетие было предпринято много усилий для разработки новых искусственных полимеров, которые отвечают требуемым условиям и характеристик для тушения пожаров [1]. В данном случае основное внимание уделяется представлению термоустойчивости материалов, таких как сшитые гидрогели на основе акриловых полимеров [3].

После создания первых синтетических гидрогелей Wichterle и Lim в 1954 году [4] они сразу начали широко применяться в разных областях. Преимущественно в области медицины и биомедицины, фармакологии в качестве регулятора биологических адгезий, основы фармацевтических препаратов, раневых повязок [5] и барьерных материалов, для диагностики, в тканевой инженерии и для создания регенеративных лекарств, сельском хозяйстве. В последние годы гидрогели нашли широкое применение особенно в системе пожаротушения [6]. Несмотря на продолжающийся поиск решений в борьбе с пожарами, защите людей, зданий и сооружений, статистика борьбы, например, с лесными пожарами, не показывает резких скачков в снижении потерь от пожаров. Это свидетельствует о том, что есть системные недостатки в развитии данной области где отсутствуют прогрессивные средства пожаротушения.

Из-за этих недостатков огнетушащих характеристик воды в последние годы активно ведутся поиски новых технологий борьбы с пожарами, чтобы минимизировать затраты и уменьшить время ликвидации пожаров. Использование современных технологий в области пожаротушения подразумевает использование модернизированных экологически чистых и высокоэффективных огнетушащих веществ (ОТВ) и пути подачи их в очаг пожара. В качестве одного из таких современных и эффективных ОТВ для борьбы с пожарами класса А (твердые горючие вещества) были предложены гелеобразующие системы [6].

Нами было проведено исследование термической устойчивости гидрогелей на основе карбопола ETD-2020 для защиты конструкционных материалов во время пожара. В качестве экспериментальной использовали синтетическую ткань – термопластичный полимер (Лавсан – штатный отделочный материал салонов авиалайнеров). Ткань увлажняли в течение 2 минут дистиллированной водой и модифицированным гидрогелем с долей концентрации карбопола 0,25% масс. Экспериментальные образцы подвергали воздействию прямого огня в течение 4 минут. Результаты приведены на рисунке.

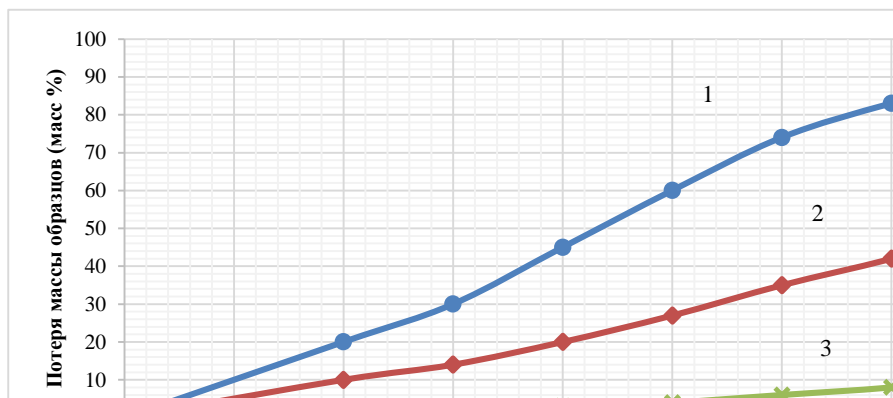


Рисунок – Изменение массы образцов (%) в результате воздействия на них пламенем (900 °С); 1 – незащищенный образец; 2 – при увлажнении водой; 3 – при увлажнении гидрогелиевым составом

Полученные данные (рисунок) показывают, что акриловые гидрогели, по сравнению с обычной огнетушащей водой, обеспечивают до 22% термической устойчивости конструкционных материалов. По результатам исследования можно заключить, что при использовании гидрогелей на основе карбопола ЕТD-2020 в качестве огнетушащих веществ при пожаре её термическая устойчивость конструкционных материалов повышается до более чем на 20% по сравнению с обычным огнетушащим веществом - водой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азимов Д.С., Азизов Р.О. Оценка огнетушащих свойств гидрогелей // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2020. – № 2 (50). – С. 73-78.
2. Азимов Д.С. Оценка огнетушащих возможностей гидрогели / Азимов Д.С., Рахматуллозода А.А. // Дальневосточная весна – 2020: материалы 18-й Межд. научно-практ. конф. – 2020. – С. 171–173.
3. Wichterle O. Hydrophilic gels for biological use. / O. Wichterle // Nature. – 1960. 185:117.
4. Mai Trong Ba. Effects of AC frequency on the Physicochemical Characteristics of water / Mai Trong Ba, Azimov Dodarbek Sadriddinovich, Knyazev Alexander Sergeevich and Ivakhnyuk Grigory Konstantinovich // Key Engineering Materials, 2017. – V. 743. – Pp. 326-330.
5. Азимов Д.С., Азизов Р.О. Влияние переменного частотно-модулируемого сигнала на регенерационные свойства гидрогеля на основе акрилового полимера // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение биологических и медицинских наук.–2020.–№3 (210).–С. 47-54.
6. Азимов Д.С. Свойства огнетушащего гидрогеля на основе электрофизической модифицированной воды / Д.С. Азимов, С. Ситамов // ДАЛЬНЕВОСТОЧНАЯ ВЕСНА – 2021: Материалы 19-й Межд. научно-практ. конф. Комсомольск-на-Амуре. – 2021. – С. 119-121.

УДК 665.7.032.5:66.092.094.25

В.С. Францкевич, зав. кафедрой, канд. техн. наук;

А.И. Юсевич, зав. кафедрой, канд. хим. наук;

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

В.И. Козловский, ст. преп., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

РАСЧЕТ И ПОДБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ РЕАКТОРНОГО БЛОКА ПИЛОТНОЙ ПРОТОЧНОЙ УСТАНОВКИ ГИДРОКОНВЕРСИИ СМЕСЕВОГО НЕФТЯНОГО, ДРЕВЕСНОГО И БУРОУГОЛЬНОГО СЫРЬЯ

В процессах гидрооблагораживания тяжелых нефтяных остатков получают так называемую синтетическая нефть, которая по своим характеристикам близка к природной легкой нефти и может быть разделена на традиционные топливные фракции: бензиновую, керосиновую, дизельную, газойлевую – методом перегонки. Однако переработка нефтяных остатков представляет собой достаточно сложную задачу в связи с тем, что они содержат большое количество смол и асфальтенов, которые склонны к поликонденсации с образованием высокомолекулярных углеродистых продуктов (кокса). Это вынуждает ограничивать степень конверсии тяжелого нефтяного сырья, так как кокс отлагается на поверхности катализаторов, оседает в газопродуктовых сепараторах, забивает холодильное оборудование и контактные устройства ректификационных колонн. Уменьшить коксообразование может повышение гидрирующей активности катализаторов. Для этого ведутся интенсивные исследования, которые позволяют достигать 75–100%-ной степени конверсии асфальтенов.

В свою очередь, совместная гидротермокаталитическая переработка тяжелых нефтяных остатков, древесных отходов и твердых горючих ископаемых с применением современных достижений в области наногетерогенного катализа является перспективным направлением повышения эффективности использования различных трудноперерабатываемых источников углеводородного сырья. При этом может быть решен ряд важных для экономики Беларуси задач:

- повышение глубины переработки нефти;
- увеличение выработки светлых углеводородных фракций топливного назначения и сырья для нефтехимического синтеза за счет вовлечения в переработку альтернативных и возобновляемых сырьевых источников;
- улучшение качества продуктов, получаемых из тяжелого

нефтяного сырья.

При проектировании пилотной проточной установки гидроконверсии смесового нефтяного, древесного и буроугольного сырья за основу была взята принципиальная технологическая схема этой установки, разработанная Институтом химии новых материалов НАН Беларуси, приведенная на рисунке. Эта технологическая схема была разработана с целью максимально точного моделирования промышленной установки гидроконверсии непрерывного действия, включающей рециклы по непревращенному остатку и водородсодержащему газу, сложное насосное оборудование для подачи суспензий под высоким давлением, циркуляционный компрессор водородсодержащего газа, многоступенчатую систему сепарации газопродуктовой смеси с выделением узких фракций целевых и побочных продуктов. Однако из-за большого числа единиц технологического оборудования, трубопроводной арматуры, контрольно-измерительных приборов и средств автоматики такая установка будет иметь весьма высокую стоимость изготовления и обслуживания. Кроме того, наличие рециклов сделает операции пуска и останова установки весьма длительными, трудоемкими и требовательными к квалификации обслуживающего персонала. Длительный выход установки на стационарный режим в свою очередь может привести к необходимости ее круглосуточной работы при проведении исследований, что может вызвать проблемы с организацией труда в НИИ и, к тому же, обусловит повышенный расход сырья, реагентов и энергоресурсов.

С учетом вышеизложенных соображений разработана технологическая схема реакторного блока с узлом подачи сырья и блоком сепарации продуктов упрощенной пилотной проточной установки гидроконверсии смесового нефтяного, древесного и буроугольного сырья производительностью до 1 кг в час (рисунок). Установка включает сырьевую емкость Е-1 с обогревом и перемешиванием, узел смешения сырья с водородом См-1, трубчатую печь П-1 для подогрева газосырьевой смеси, трубчатый реактор Р-1, водяные холодильники Т-1 и Т-2, горячие сепараторы высокого (С-1) и низкого (С-2) давления, холодный сепаратор низкого давления С-3 для разделения смеси продуктов. Предусмотрена предохранительная арматура для безопасной эксплуатации оборудования, контрольно-измерительные приборы и система автоматики для контроля и регулирования параметров технологического режима.

Выполнены механические расчеты оборудования. Основной конструкционный материал – сталь 12Х18Н10Т.

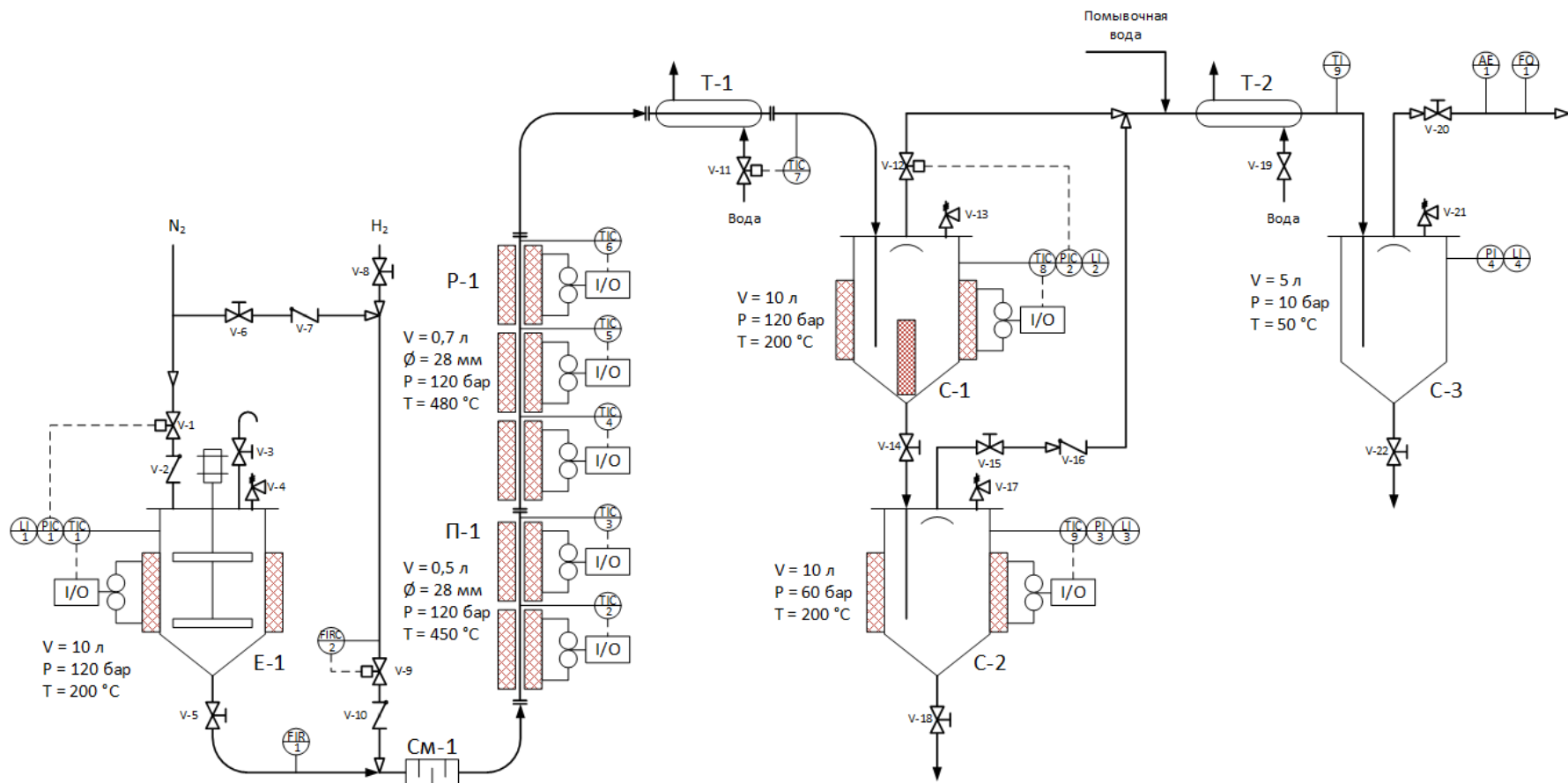


Рисунок 1 – Технологическая схема реакторного блока с узлом подачи сырья и блоком сепарации продуктов пилотной проточной установки гидроконверсии смешанного нефтяного, древесного и бурогоугольного сырья производительностью до 1 кг в час

Для сырьевой емкости Е-1 рассчитаны внутренний диаметр – 180 мм, высота – 400 мм и толщины: цилиндрической обечайки – 20 мм, днища – 30 мм и крышки – 62 мм. Количество шпилек для крепления крышки к емкости составляет 12 шт. размером М30 из стали 35Х. Подобран материал уплотнительной прокладки и ее толщина. Перемешивающее устройство имеет две четырехлопастные мешалки диаметром 60 мм, лопасти которых высотой 15 мм наклонены под углом 30° к плоскости вращения. Затраты мощности на перемешивание – 0,3 кВт при температурах 100–200°С. Диаметр вала 9 мм. Мощность электрического нагревателя для нагрева емкости и среды в ней 4 кВт.

Внутренний диаметр реактора Р-1 при давлении 13 МПа и температуре 530°С составил 28 мм, высота – 1200 мм, толщина стенки реактора – 4 мм. Толщина прокладки 3 мм, ширина – 8 мм (из терморасширенного графита «графлекс» типа ПФ 33). Количество шпилек для крепления крышки к емкости составляет 4 шт. размером М20 из стали ХН35ВТ. Мощность электрического нагревателя – 0,7 кВт.

Подогреватель исходной смеси П-1 – электрическая трубчатая печь с внутренним диаметром 28 мм и высотой 850 мм. Мощность электрического нагревателя – 0,55 кВт.

Поверхность теплообмена холодильников Т-1 и Т-2 составляет соответственно 0,0103 м² и 0,551 м². Рассчитаны внутренний диаметр и толщина внутренней и наружной трубок, толщина фланцев, длина теплообменной поверхности.

Для сепараторов С-1, С-2 и С-3 внутренний диаметр составил 150 мм, высоты – 600 мм, 600 мм и 300 мм соответственно. Толщины стенок цилиндрических обечаек – 15 мм, 8 мм и 5 мм соответственно. Рассчитаны диаметр шпилек для крепления крышек к сосудам, их количество. Подобран материал уплотнительной прокладки и ее толщина.

Выполнен расчет толщины слоя тепловой изоляции технологического оборудования.

*Работа выполнялась в рамках задания 4.3
ГПНИ "Химические процессы, реагенты и технологии,
биорегуляторы и биооргхимия".*

В.С. Францкевич, зав. кафедрой, канд. техн. наук;
В.Н. Павлечко, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
Ю.И. Шалухо, зам. директора-главный инженер
(ОАО «Крион», г. Минск)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ ОЗОНООПАСНОГО ХЛАДОАГЕНТА В ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИНАХ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Принятые международными комитетами меры по предотвращению разрушения слоя стратосферного озона, а также возникновения парникового эффекта в атмосфере из-за выбросов хладагентов привели, начиная с начала 90-х годов, к радикальным изменениям в технологиях кондиционирования воздуха и искусственного охлаждения.

Это утверждение в особенности справедливо для промышленных установок охлаждения и кондиционирования воздуха с их широкой областью применения. До недавнего времени в этих системах использовались в основном озоноразрушающие хладагенты, а именно R12, R22 и R502; для особых целей применялись R114, R12B1, R13B1, R13 и R503.

Промышленно развитые страны отныне не разрешают использовать эти хладагенты, кроме R22. В странах Европейского Союза, однако, в настоящее время уже действует поэтапная программа отказа также и от R22. Основной причиной такого более раннего, в отличие от международных соглашений, запрета R22 является потенциал разрушения озонового слоя, хотя он и весьма незначителен.

В настоящее время для охлаждения сжатого воздуха после компрессора высокого давления (20 МПа) в ОАО «Крион» используются две холодильные машины, одно из которых на первой ступени охлаждает сжатый воздух от +1°C до минус 20°C, вторая – доохлаждает его до минус 37°C. В обеих машинах циркулирует хладагент R 22.

Хладагент R 22 (хлородифторметан):

- имеет низкую стоимость;
- к 2020 году должен быть выведен из оборота странами, ратифицировавшими Монреальский протокол;
- является однокомпонентным, в случае утечки возможна дозаправка независимо от количества потерянного хладагента;
- не сложен в производстве, благодаря чему есть много производителей по всему миру.

Поскольку хладагент R 22, содержащий в своем составе хлор, относится к озоноразрушающим веществам, то были проведены теплотех-

нические расчеты замены его на другой хладагент. Для сравнения был выбран хладагент R 410-а.

Хладагент R 410-а является двухкомпонентным веществом. В состав хладагента R 410а входят:

хладагент R 32 – дифторметан (50%);

хладагент R 125 – пентафторэтан (50%).

По сравнению с R 22, хладагент R 410а имеет ряд преимуществ и недостатков. Они обусловлены его техническими характеристиками, физическими свойствами и сложностью производства:

- не токсичен, пожаробезопасен;
- двухкомпонентный, в случае утечки большого количества из системы, ее нужно очистить от остатков и заправлять заново;
- не разрушает озоновый слой;
- имеет более высокие рабочие давления, оборудование должно быть более прочным. Оно дорогое, но надежное.

Из анализа результатов расчетов следует, что, исходя из условий теплообмена в испарителе первой ступени, расход хладагента R 410 а сопоставим с расходом хладагента R 22.

Количество тепла при испарении фреона на первой ступени в 3,4 раза превышает количество тепла, отводимое от сжатого воздуха. Следовательно, испаритель 1 ступени работает с некоторым запасом и можно предполагать температуру охлаждаемого воздуха, меньшей минус 20°С. Количество тепла при испарении хладагента на второй ступени сопоставимо с количеством тепла, отводимым от сжатого воздуха.

Из результатов расчетов также следует, что при замене в холодильной машине хладагента R 22 хладагентом R 410-а давление на входе в компрессор возрастает в 1,687 раза, давление после компрессора – в 1,572 раза. Теплообменное оборудование также должно работать при повышенном на 60–70% давлении. Для использования имеющихся компрессора и теплообменного оборудования при повышенных давлениях требуются согласования с заводами-изготовителями, что связано с решением большого круга организационных вопросов. С учетом некоторого износа применяемого оборудования более целесообразно использование нового оборудования, что сопряжено со значительными финансовыми затратами.

Таким образом, замена хладагента R 22 хладагентом R 410-а в существующих условиях нецелесообразна, поскольку требует:

- а) решения значительных организационных вопросов при использовании существующего оборудования. Заранее трудно определить возможность использования применяемого оборудования;

б) существенных расходов на приобретение и монтаж нового оборудования, а также приобретение хладагента *R* 410-а.

Почти азеотропная смесь, предлагаемая под наименованием *R* 410а, применяется в реальных системах, главным образом в установках кондиционирования воздуха. Существенной особенностью является удельная холодопроизводительность почти на 50% выше, чем у *R* 22, но, вследствие этого, с пропорциональным повышением рабочих давлений в системе. Расчеты показывают предпочтительное энергопотребление при использовании при низких температурах конденсации. Преимуществом являются также высокие коэффициенты теплопередачи в испарителе и конденсаторе, что представляет собой потенциал для дальнейшего повышения эффективности. Ввиду незначительного температурного скольжения, практичность применения смеси *R* 410а представляется аналогичной однокомпонентным хладагентам.

По совместимости материалов смесь сравнима с ранее рассмотренными; то же самое можно сказать и о маслах. Однако следует учитывать уровни давления и более высокую удельную нагрузку на узлы системы.

Базовые критерии для смесей гидрофторуглеродов применимы также к технологиям систем на *R* 410-а, с учетом, однако, чрезвычайно высоких уровней давления (температура конденсации в 43°C уже соответствует абсолютному давлению в 2,6 МПа). В настоящее время доступность компрессоров и других узлов систем для этого хладагента существенно ограничена. Сказывается и результирующее влияние правил и норм безопасности.

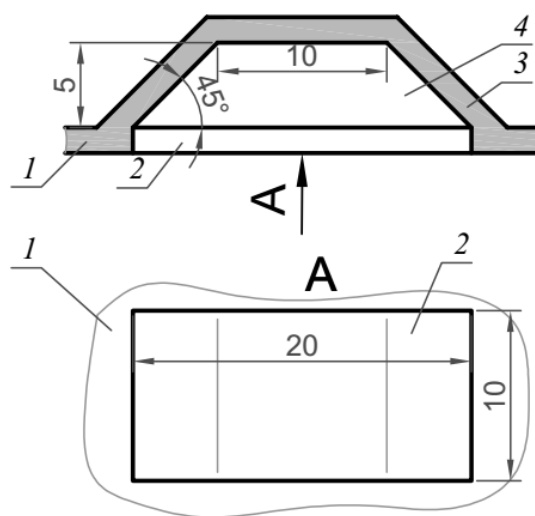
Ввиду благоприятных свойств *R* 410-а во всем мире действуют исследовательские программы по разработке и испытанию подходящих системных узлов. Кроме того, высокие уровни давления для *R* 410-а могут потребовать внесения коренных изменений в конструкцию компрессора, теплообменников, органов управления, трубок и шлангов, наряду с обращением особого внимания на общие правила безопасности, регламентирующие качество и размеры шлангов и гибких элементов (для температуры конденсации около 60°C и давления 4 МПа). Другим критерием является сравнительно низкая критическая температура в 73°C. Тем самым, независимо от конструкции узлов на стороне высокого давления, существенно ограничивается температура конденсации.

Д.Г. Калишук, канд. техн. наук, доц.;
Н.П. Саевич, канд. техн. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОРОШАЕМЫХ ТАРЕЛОК СО СТАЦИОНАРНЫМИ КЛАПАНАМИ

Массообменные клапанные тарелки аппаратов для взаимодействия газа и жидкости изготавливают с подвижными и со стационарными клапанами [1–4]. Последние по сравнению с тарелками с подвижными клапанами проще, дешевле, малочувствительны к загрязнениям. Информация о гидродинамических характеристиках тарелок со стационарными клапанами в открытых источниках практически отсутствует. Поэтому нами проводятся экспериментальные исследования по определению гидравлического сопротивления указанных тарелок, которые необходимы для проектирования массообменных аппаратов.

Исследовались образцы тарелок с прямоугольными клапанами (см. рисунок 1). Диаметр тарелок составлял 240 мм, они имели относительное свободное сечение $f_{св}$ равное 0,209, 0,106 и 0,053 м²/м².



1 – основание тарелки; 2 – отверстие под клапан в основании тарелки; 3 – клапан;
4 – боковое отверстие под клапаном для выхода газа

Рисунок 1 – Схема клапана экспериментальных тарелок

Модельными средами являлись воздух и вода. В ходе опытов фиксировали расходы воздуха и воды, их температуру, барометрическое давление и гидравлическое сопротивление тарелки ΔP . Нагрузка по жидкости на перелив q_L варьировалась от 0,0003 до 0,0027 м³/(м·с). Нагрузка по газу определялась значением F -фактора F_s и изменялась

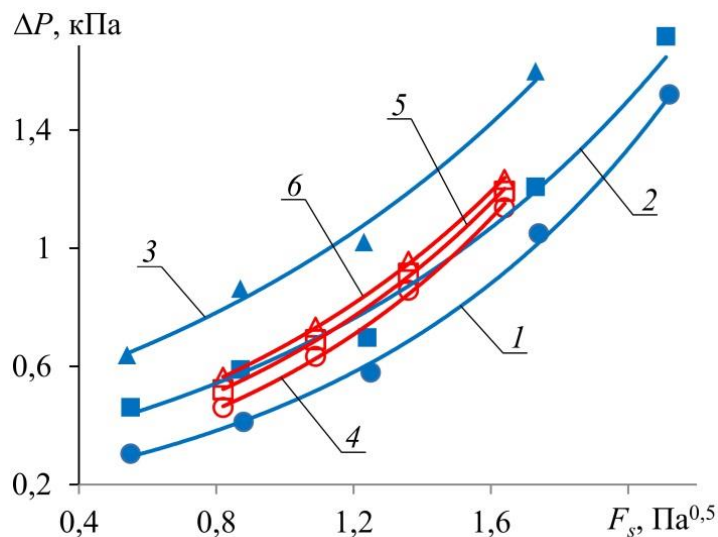
от 0,8 до 3,2 Па^{0,5}. Высота сливного порога тарелок $h_{\text{пер}}$ составляла 0,025, 0,040 и 0,050 м при его длине $L_{\text{пер}} = 0,180$ м. Величины q_L и F_s вычислялась по формулам:

$$q_L = \frac{Q_L}{L_{\text{пер}}}; \quad (1)$$

$$F_s = w\sqrt{\rho_G} = \frac{Q_G}{S}\sqrt{\rho_G}, \quad (2)$$

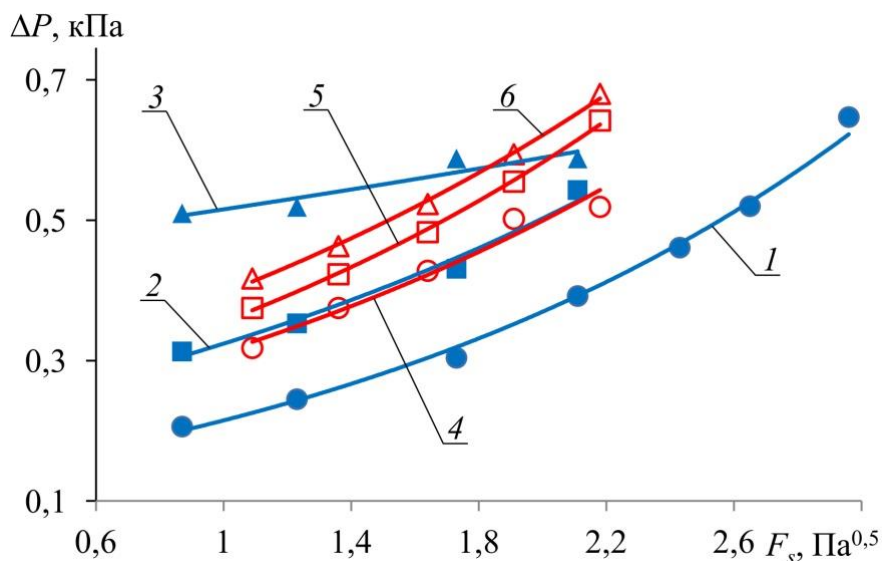
где Q_L – объемный расход жидкости через тарелку, м³/с; ρ_G – плотность газа, кг/м³; Q_G – объемный расход газа через тарелку, м³/с; S – площадь поперечного сечения тарелки, м².

Исследования показали, что наиболее широкий диапазон устойчивой работы, имеют тарелки с $f_{\text{св}} = 0,053$ м²/м² и $f_{\text{св}} = 0,106$ м²/м² при высоте сливной планки 0,04 и 0,05 м. На рис. 2 и 3 приведены для указанных выше орошаемых тарелок зависимости их гидравлического сопротивления ΔP , Па, от F -фактора при $h_{\text{пер}} = 0,04$ м. На рисунках для сравнения также даны расчетные значения [2] гидравлического сопротивления орошаемых ситчатых тарелок с аналогичными значениями $f_{\text{св}}$ и эквивалентного диаметра отверстий для прохода газа.



1, 2 и 3 – клапанная тарелка при q_L 0,0003, 0,0012 и 0,0027 м³/(м·с) соответственно; 4, 5, 6 – ситчатая тарелка при q_L 0,0003, 0,0012 и 0,0027 м³/(м·с) соответственно

Рисунок 2 – Зависимость гидравлического сопротивления орошаемых тарелок от значения F -фактора при $f_{\text{св}} = 0,053$ м²/м² и $h_{\text{пер}} = 0,040$ м.



1, 2 и 3 – клапанная тарелка при q_L 0,0003, 0,0012 и 0,0027 $\text{м}^3/(\text{м}\cdot\text{с})$ соответственно; 4, 5, 6 – ситчатая тарелка при q_L 0,0003, 0,0012 и 0,0027 $\text{м}^3/(\text{м}\cdot\text{с})$ соответственно

Рисунок 3 – Зависимость гидравлического сопротивления орошаемых тарелок от значения F -фактора при $f_{св} = 0,106 \text{ м}^2/\text{м}^2$ и $h_{пер} = 0,040 \text{ м}$

Результаты эксперимента и расчетов и их анализ показали, что при равных прочих условиях гидравлическое сопротивление орошаемых тарелок со стационарными клапанами при малых и умеренных нагрузках по жидкости не превышает гидравлическое сопротивление орошаемых ситчатых тарелок. Однако для тарелок со стационарными клапанами диапазон устойчивой работы может достигать 3,5 – 4, что значительно выше, чем у ситчатых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М.: Химия, 1973.
2. Рамм, В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. – М.: Химия, 1976.
3. Клапанные тарелки EDV [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.bts.net.ua/column/edv. – Дата доступа: 12.02.2020.
4. Тарелки для переноса массы [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.rubbersealing.com/trays-Ru.html. – Дата доступа: – 12.02.2020.

В.П. Кобринец, канд. техн. наук, доц.;
Н.П. Коровкина, канд. пед. наук, доц.;
Н.Н. Пустовалова, канд. техн. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Основными направлениями экономии топливо-энергетических ресурсов можно считать следующие:

- внедрение частотно-регулируемых электроприводов;
- замена устаревших электроприводов современными энерго-сберегающими установками такими как вентильно-индукторными (ВИД).

Переход к частотно-регулируемому электроприводу (ЧРЭП) позволяет радикально решить проблему энергосбережения, однако требует заметных усилий как в сфере разработки совершенных преобразователей частоты, так и в создании эффективных алгоритмов энергетического аудита, глубокого проникновения в особенности технологических процессов и оптимального использования современных микропроцессорных средств.

Система «электронный преобразователь частоты – короткозамкнутый асинхронный двигатель» в настоящее время является оптимальным техническим решением массового электропривода. Она особенно привлекательна на стадии модернизации предприятия: сохраняется все существующее оборудование, но между сетью и двигателем включается новый элемент – преобразователь частоты.

В настоящее время в мировой практике выполнен большой объем исследований и разработок нового типа электрических машин: вентильно-индукторных двигателей и базирующих на них электроприводов.

Экономия электроэнергии при замене асинхронных двигателей (АД) на ВИД одинаковых мощностей определялась по экономии электрической энергии в год. Исходными величинами являлись следующие: номинальные мощности АД и ВИД, коэффициенты полезного действия АД и ВИД.

Проведенные расчеты показали, что применение ЧРЭП и ВИД в качестве электроприводов различного технологического оборудования являются перспективными направлениями в системах энергосбережения промышленных предприятий.

УДК 66.021.3

П.Е. Вайтехович, д-р техн. наук, проф.; Д.Ю. Мытько, асп.
(БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ БИОГАЗА ОТ СЕРОВОДОРОДА

Использование биогаза в качестве альтернативного источника энергии представляется довольно перспективным, особенно для нашей страны, не имеющей в достаточном количестве своих энергоносителей. В последние десятилетия в зарубежных странах ведутся активные изыскания по практической реализации этого способа получения энергии. Более того, и в нашей стране уже смонтировано и работает несколько биогазовых установок единичной мощности 1÷5 МВт.

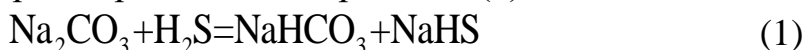
Энергоносителем в таких установках является метан, получаемый в результате брожения навоза. Весь технологический комплекс биогазовой установки включает смеситель, ферментер (биореактор), аппарат для очистки газа, двигатель внутреннего сгорания и генератор электроэнергии. Конечно, основным из них является ферментер, в котором навоз с содержанием твердой фазы 10-12% разлагается бактериями с образованием биогаза. А вот основной компонент биогаза – это метан (в среднем 60%). Кроме того, в биогазе присутствует до 38% двуокиси углерода, 0,25% сероводорода и 0,01% аммиака.

Важнейшей задачей стадии очистки газа является удаление из него сероводорода. Присутствие сернистых соединений отрицательно влияет на работу двигателя внутреннего сгорания. Используемый в настоящее время адсорбционный метод очистки газа с помощью активированного угля оказался не очень удачным. Причины быстрая дезактивация адсорбента, твердые отложения на нем, сложность регулирования. Все это в совокупности с высокой ценой снижает экологические показатели биогазовой установки в целом. Поэтому основной задачей данной работы является поиск альтернативных способов очистки биогаза от сероводорода в направлении преодоления отмеченных выше недостатков.

В этой связи нами проведен анализ мировых достижений в области очистки газа от сероводорода. При этом критериями оценки способа очистки и сорбента были его стоимость и доступность, свойства (агрессивность, пожаро- и взрывоопасность), сложность регенерации и утилизация отходов. В общей сложности с учетом расположения биогазовых установок в сельской местности мы для окончательного анализа выбрали несколько способов, которые можно разде-

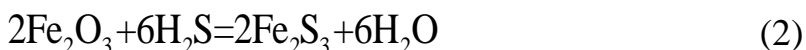
лить на абсорбционные (мокрые) и адсорбционные (сухие).

Среди мокрых методов довольно эффективным является абсорбция растворами аммиака и моноэтаноламина. Но физические свойства сорбентов и сложность регенерации не позволяет рекомендовать их для использования в биогазовых установках. Наиболее приемлемым можно считать абсорбцию раствором карбоната натрия. Связывание сероводорода происходит по реакции (1):



Регенерация абсорбента – продувка горячим воздухом. Но даже ее можно не проводить так как продукты реакции смешиваются с продуктами биоразложения и продаются в качестве удобрений.

По установленным критериям среди сухих (адсорбционных) проходит метод, в котором в качестве сорбента используются оксид железа – Fe_2O_3 . Причем здесь также реализуется процесс хемосорбции по реакции (2):



Регенерация при этом осуществляется продувкой горячим воздухом (3):



Право на использование имеет и комбинированный способ, когда в качестве сорбента выступает 3%-ный раствор Na_2CO_3 с добавлением 0,5% Fe_2O_3 .

Заключительным этапом работы являлось проведение технико-экономического сравнения методов очистки биогаза от сероводорода. Результаты этого сравнения приведены в таблице.

Таблица – Технико-экономическое сравнение

№	Сорбент	Стоймость за 1 т, руб	Месячная потребность, т	Затраты за 1 месяц, тыс. руб.
1	Активированный уголь	14000	4,0	56
2	Na_2CO_3	2000	3,14	6,28
3	Fe_2O_3	1430	1,57	2,25

Данные по первому сорбенту предоставлены заказчиком по результатам работы одной из биогазовых установок. Для двух других сорбентов расходные параметры рассчитывались по химической кинетике реакции с учетом расхода газа 460 м³/час, его температуры 12 ÷ 30°C и избыточного давления до 10 кПа

Конечно, результаты, представленные в таблице, можно считать предварительными и ориентировочными. Но даже по ним просматривается необходимость и возможность замены сорбента в аппаратах для очистки газа.

РЕГЕНЕРАТОР ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ЗАКРЫТОГО ЦИКЛА

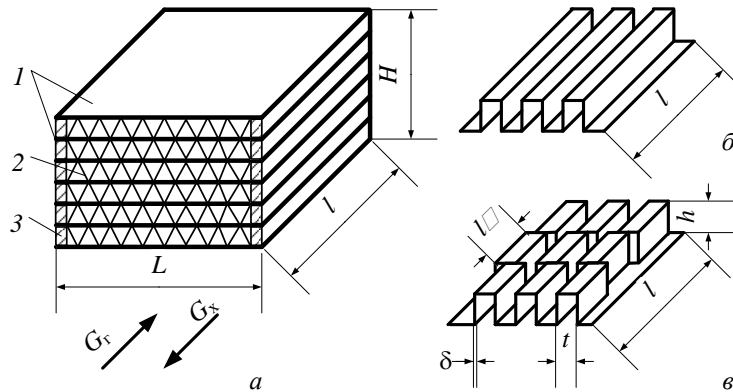
В энергетике применяются газотурбинные установки (ГТУ), работающие по открытому и закрытому циклу. Преимуществом ГТУ закрытого цикла является возможность использовать внешние альтернативные источники теплоты: отходящие газы промышленных печей, химические источники теплоты, ядерных энергетических установок и других. Как правило, ГТУ закрытого цикла включают регенератор, что позволяет повысить КПД до значений не менее 40%.

В качестве рабочего вещества в ГТУ закрытого цикла можно применять химически неактивные газы воздух, N_2 , CO_2 . Перспективной является смесь гелия и ксенона. Изменение состава He–Xe дает возможность получить рабочее тело с различной молекулярной массой, которая влияет на массогабаритные характеристики регенератора и турбины, что позволяет повысить их эффективность по сравнению с другими газовыми теплоносителями [1].

Целью данной работы является выбор регенератора ГТУ замкнутого цикла с рабочим телом He–Xe для автономного электроснабжения. Используемое рабочее тело чистое вещество, циркулирующее в замкнутом контуре. Это делает перспективным использование компактных теплообменных аппаратов с пластинчато-ребристой поверхностью теплообмена, которые имеют малое проходное сечение с эквивалентным диаметром несколько миллиметров (рисунок 1).

При выборе для сравнительного анализа пластинчато-ребристых регенераторов руководствовались освоенностью их производства и наличием данных по теплообмену и гидравлическому сопротивлению. Эти ребренные поверхности не только увеличивают удельную объемную площадь теплообмена, а также дополнительно турбулизируют греющий и нагреваемый потоки теплоносителей. Таким требованиям в наибольшей степени удовлетворяют поверхности с рассеченными короткими пластинчатыми ребрами различной конфигурации. Пример одной из поверхностей показан на рисунке 1, в. Характеристики исследуемых поверхностей теплообмена приведены в таблице.

Методика оптимизационного теплогидравлического расчета аппаратов базируется на решении системы уравнений теплопередачи и теплового баланса для греющего и нагреваемого теплоносителя совместно с замыкающими соотношениями для коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления.



l – пластины, разделяющие потоки; 2 – профильная насадка; 3 – проставка;
 G_g и G_x – вход и выход потоков горячего и холодного теплоносителей
Рисунок 1 – Теплообменная матрица (а) и элементы поверхности теплообмена с гладкими сплошными (б) и смещенными рассеченными ребрами (в)

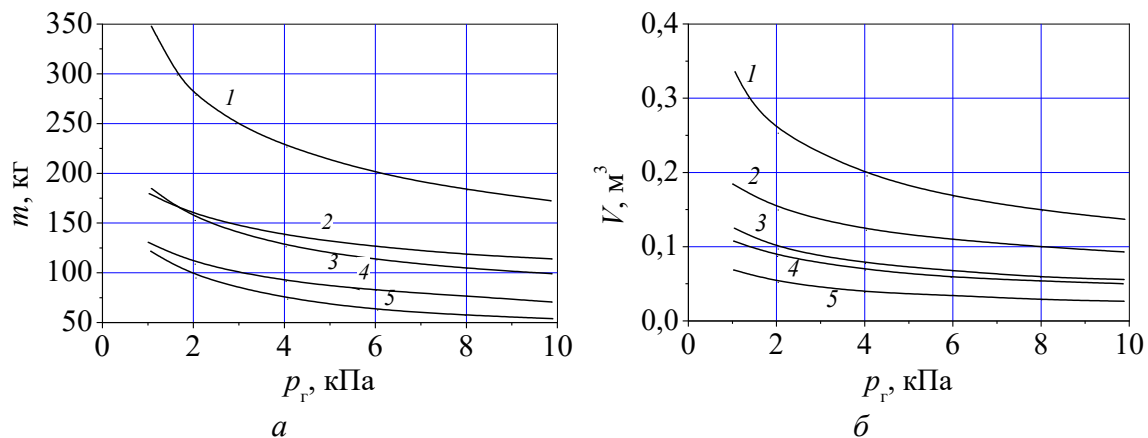
Таблица – Регенератор с пластинчато-ребристой поверхностью теплообмена ($Q = 185$ кВт, $G_g = 1,885$ кг/с, $t_{г1} = 662^\circ\text{C}$, $G_x = 1,849$ кг/с, $t_{х1} = 217^\circ\text{C}$)

№ поверхности	h , мм	t , мм	δ , мм	d_r , мм	l' , мм	Поверхность, источник
1	5,12	1,27	0,101	1,49	3,17	ПлР-9 [2]
2	7,00	3,40	0,100	2,87	3,00	КПР [3]
3	5,56	5,26	0,100	3,23	5,43	№1 [4]
4	2,00	3,20	0,100	1,41	2,00	№1 [5]
5	3,10	3,20	0,100	1,60	9,50	№2 [5]

В качестве показателя оптимальности целевой функции $F = \min(S_\phi, l)$ выступают минимальная масса или объем регенератора, где $S_\phi = L \cdot H$. Потеря давления по горячей стороне регенератора является определяющей. На функцию F накладывается явное ограничение на глубину аппарата $l_{\min} \leq l \leq l_{\max}$ и неявные ограничения $L / H \leq (L / H)_{\max}$, $\Delta p_g \leq \Delta p_{g,\max}$.

Оптимизационные расчеты регенератора для рассматриваемых поверхностей теплообмена проводилась по массе в зависимости от предельной потери давления по горячей стороне регенератора, относенных к аппарату в целом при $(L / H)_{\max} = 1$.

Получено, что наилучшие показатели имеет регенератор с поверхностью №4 с минимальным гидравлическим диаметром (рис. 2, а). Оптимальная масса других регенераторов выше и располагается в последовательности возрастающего ряда эквивалентных гидравлических диаметров поверхностей теплообмена за исключением поверхности №1 с минимальным шагом ребер 1,27 мм. Объемы регенераторов при тех же условиях расположены в такой же последовательности, как и их массы (рисунок 2, б).



1 – поверхность № 3; 2 - № 2; 3 - № 5; 4 - № 1; 5 - № 4

Рисунок 2 – Изменение минимальной массы регенератора (а) и его объема (б) в зависимости от предельных потерь давления

При выборе регенератора следует руководствоваться не только значениями их масс и объемов, но и характеристиками теплообменных насадок. При малых проходных сечениях возможно ухудшение теплогидравлических характеристик, обусловленных смыканием пограничных слоев и забиванием миниканалов продуктами загрязнения теплоносителей. Поэтому в некоторых случаях может оказаться, что предпочтительней использовать в регенераторах поверхность № 5, а не поверхности № 1 и 4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шафиков Г. А. Влияние состава рабочего тела на объём теплообменных аппаратов замкнутой газотурбинной установки // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. - 2016. - № 2. - С. 25–37.
2. Кэйс В.М., Лондон А.Л. Компактные теплообменники. – М.; Энергия, 1977. – 224 с.
3. Дубровский Е.В., Федотова А.И. Исследование пластинчаторебристых теплообменных поверхностей // Холодильная техника. – 1971. - № 12. – С. 31-34.
4. Воронин Г.И., Дубровский Е.В. Эффективные теплообменники. – М.: Машиностроение, 1973. – 96 с.
5. Экспериментальное исследование теплоаэродинамических характеристик высокоэффективных теплообменных поверхностей / Знаков Ю.И., Ильюхин Ю.Д., Ковалев Г.А. и др. // Изв. АН БССР. Сер. Физ.-энерг. Наук. – 1991. – № 2. – С. 88-91.

**ПРИБЛИЖЕННЫЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА КОНДЕНСАТОРОВ
ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**

Одним из основных элементов парокомпрессионного теплового насоса (ТН), определяющим его технико-экономические показатели, является конденсатор перегретого пара хладагента, поступающего в него после компрессора. Конденсация перегретого пара в аппаратах теплопроизводительностью до 30 кВт осуществляется в горизонтальных трубах. В настоящее время при проектировании конденсаторов и анализе их работы в составе тепловых насосов используют интегральные методики расчета, которые достаточно просто можно адаптировать к конкретным условиям эксплуатации. Однако недостаточно исследованным остается вопрос о влиянии перегрева пара на уровень подогрева воды в конденсаторе. При расчете конденсаторов могут использоваться альтернативные подходы. В первом случае учет перегрева пара при пленочной конденсации проводится введением поправок к расчетным формулам коэффициентов теплоотдачи насыщенного пара, а во втором случае – разбиением поверхности конденсации на две зоны: охлаждения перегретого пара и конденсации. В данной работе выполнен сравнительный анализ этих подходов к расчету конденсаторов перегретого пара с хладагентом R410a: в целом по 1-му участку (однозонная модель) и по 2-м участкам (двухзонная модель).

Объектом исследования является конденсатор теплопроизводительностью 10 кВт, в который поступает перегретый пар хладагента с температурой 105,3°C, давлением 3,4 МПа и расходом 0,0346 кг/с, выполняющий одновременно функцию теплового аккумулятора и буферной емкости низкотемпературной теплонасосной системы отопления и горячего водоснабжения. Аппарат выполнен в виде теплоизолированного цилиндрического бака объемом 500 л с внутренним диаметром 0,75 м. Поверхность теплообмена конденсатора представляет собой спиральный змеевик труба в трубе диаметром 0,5 м, погруженный в нагреваемую жидкость. Внутренняя труба – 14×1 мм, наружная – 21×1,5 мм. Схема течения потоков хладагента в трубе и нагреваемой воды в кольцевом канале противоточно-перекрестная.

При использовании обеих методик расчета конденсатора решается система уравнений теплового баланса и теплопередачи [1], которая дополняется замыкающими соотношениями для определения ко-

эффицентов теплоотдачи.

Теплоотдача со стороны конденсирующегося хладагента во всех случаях определялась по зависимости работы для насыщенного пара [2] с учетом особенности методики расчета. В однозонной модели значение коэффициента теплоотдачи корректировалось поправочным коэффициентом перегрева. В двухзонной модели на участке конденсации конденсировался насыщенный пар и применялась оригинальная зависимость.

В двухзонной методике для расчета коэффициентов теплоотдачи на участке охлаждения перегретого пара хладагента использовались уравнения работ [3, 4] в зависимости от режима течения потока. Для нагреваемой воды коэффициент теплоотдачи в кольцевом канале с адиабатной внешней поверхностью для рассматриваемой конструкции конденсатора рассчитывается по уравнению [5]. Физические свойства сред определялись по значениям средних температур на рассматриваемых участках.

Результаты теплового расчета исследуемого конденсатора на номинальном режиме, полученные с использованием двухзонной и однозонной моделей представлены на рисунке 1.

Получено, что температура нагретого теплоносителя на выходе из аппарата при использовании двухзонной и однозонной моделей практически одинакова и соответственно равна $49,8^{\circ}\text{C}$ и $49,9^{\circ}\text{C}$. Это следует из уравнения теплового баланса аппарата. В тоже время поверхность теплообмена (длина змеевика L) конденсатора, коэффициенты теплопередачи k и температурные напоры Δt отличаются.

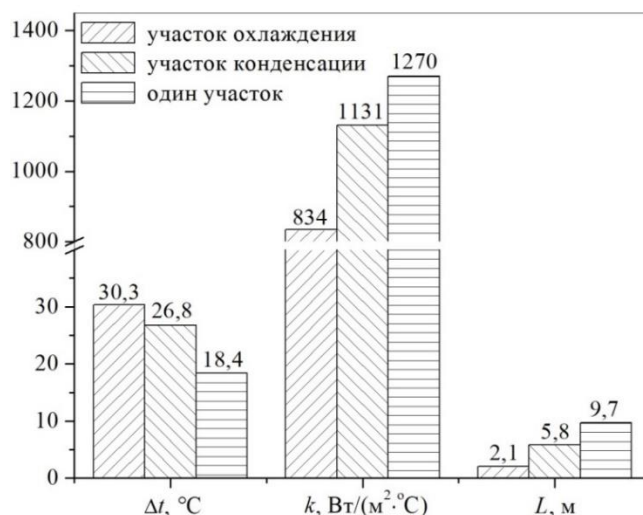


Рисунок 1 – Изменение параметров на участках конденсатора

Температурный напор в однозонной модели ограничен температурой насыщения на входе и выходе конденсатора, что приводит к его минимизации. В то время как в двухзонной модели локальные темпера-

турные напоры на входе и выходе рассматриваемых участков выше, что и является причиной повышения на них среднелогарифмических температурных напоров.

Существенное различие температурных напоров по сравнению с коэффициентом теплопередачи в одно- и двухзонной моделях приводит к увеличению поверхности теплообмена при использовании однозонной модели в 1,23 раза.

Недостатком метода теплового расчета конденсатора с использованием однозонной модели является ограничение на расход, а соответственно и на выходную температуру нагреваемой воды, которая не превышает температуру насыщения. В тоже время двухзонная методика позволяет изменять расход воды в более широком диапазоне, что при перекрестно-противоточной схеме течения потоков обосновывает возможность нагрева воды больше температуры насыщения.

Для рассматриваемых условий работы конденсатора получено, что при уменьшении расхода воды от 0,06 до 0,042 кг/с ее температура на выходе конденсатора становится больше температуры насыщения 55°C. Максимальный нагрев воды составил 66,9°C при расходе 0,042 кг/с, что выше температуры насыщения на 11,9°C. При этом температура стенки на участке охлаждения выше, чем на участке конденсации. Эта особенность не учитывается при использовании однозонной модели расчета конденсатора.

Таким образом, тепловой расчет конденсаторов следует проводить отдельно по участкам охлаждения перегретого пара и фазового перехода. Такой подход позволяет адекватно учесть особенности процесса конденсации перегретого пара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Здитовецкая С.В., Володин В.И. Метод расчета пароконденсационных трансформаторов теплоты // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2012. № 5. С. 76-82.
2. Cavallini A., Zecchin R.A. Dimensionless correlation for heat transfer in forced convection condensation. // Proceedings 6th Int. heat transfer conference. 1974. Vol. 3. P. 309–313.
3. Тепловой и гидравлический расчет теплообменного оборудования АЭС. Методические указания: РД 24.035.05-89. Л.: НПО ЦКТИ, 1991. 211 с.
4. Каст В. Конвективный тепло- и массоперенос. М.: Энергия, 1980. 49 с.
5. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А. Теплообмен в ядерных энергетических установках. М.: Атомиздат, 1974. 408 с.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОЙ ПЛЕНКИ В КАНАЛЕ ТРЕУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

В процессах абсорбции, десорбции и ректификации важным фактором для эффективной массопередачи в массообменных аппаратах с регулярно-структурированной насадкой является равномерное распределение жидкости на поверхности и хорошая смачиваемость. Ранее мы экспериментально исследовали несколько вариантов регулярно-структурированных насадок и определили наиболее эффективную, название которой зигзагообразная [1, 2]. Мы изучили гидродинамику и определили режимы движения фаз. Известно, что жидкость в каналах насадки движется в виде тонких пленок и струек. Так как гидродинамика пленки еще не исследована, мы смоделируем ее в канале зигзагообразной насадки. Для этого будем использовать программный пакет ANSYS FLUENT.

Целью работы является компьютерное моделирование гидродинамики пленки жидкости в канале треугольного сечения, которое позволит определить ее скорость и структуру как на поверхности плоских стенок, так и в углах канала.

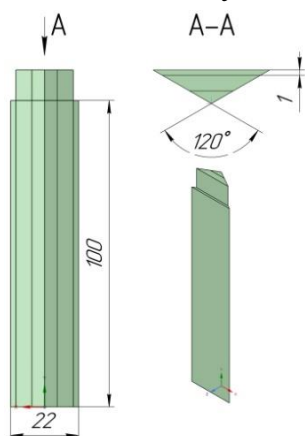


Рисунок 1 – Модель канала треугольного сечения

Нами была подготовлена осесимметричная 3D модель третьей части треугольного канала высотой 100 мм и шириной 22 мм. Входное отверстие для жидкой фазы расположено на верхнем торце по периметру, ширина которого 1 мм.

Модель канала с геометрическими размерами изображена на рисунке 1.

Чтобы задать начальные параметры и начать этап компьютерного моделирования определим число Рейнольдса на входе в канал. Нам известно, что расход жидкости Q , м³/с составляет $1,38 \cdot 10^{-6}$, $2,77 \cdot 10^{-6}$, $4,16 \cdot 10^{-6}$. Тогда число Рейнольдса пленки Re определим по формуле (1):

$$Re_{пл} = \frac{4 \cdot \Gamma}{\nu}, \quad (1)$$

где Γ – линейная плотность орошения, м²/с; ν – кинематическая вязкость воды, м²/с.

Линейная плотность орошения определяется по формуле (2):

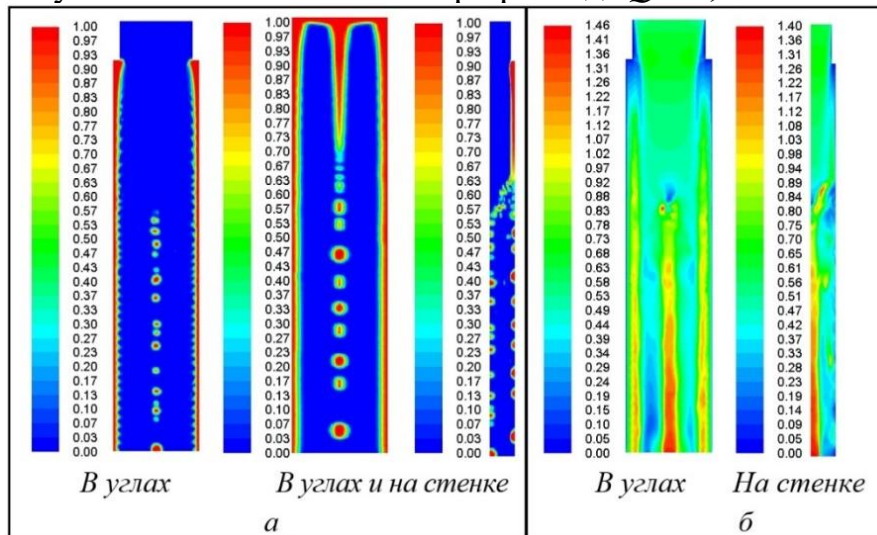
$$\Gamma = \frac{Q}{\Pi}, \quad (2)$$

где Π – смоченный периметр поперечного сечения канала, м.

Определено, что числа Рейнольдса для данных расходов лежат на промежутке 83-252. Им соответствует ламинарно-волновой режим $20 \leq Re_{\text{пл}} \leq 1600$. Следовательно для моделирования будем использовать модель ламинарного течения жидкости.

Нами экспериментально определен краевой угол смачивания статическим методом лежащей капли воды на образце из оргстекла ($73-76^\circ$). Следовательно эти параметры будем использовать для моделирования.

На рисунке 2 а, б представлены контуры объемной доли воды и ее скорости в углах и на стенке канала при расходе $Q = 1,38 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.



а – объемная доля, б – скорость

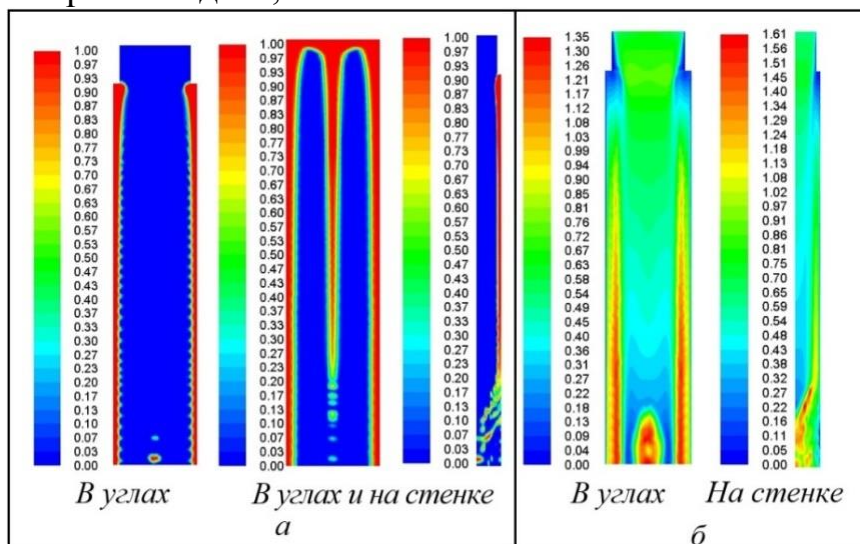
Рисунок 2 – Контурные струйки воды в канале треугольного сечения

Из рисунка 2 а видно, что вода течет по стенкам канала и в его углах в виде струек и капелек. Скорость воды на входе в канал равна 0,063 м/с. На поверхности струек наблюдается волновая структура. Скорость струек (рисунок 2 б) увеличивается с приближением их к выходу канала и достигает своего максимума 1,3 м/с.

На рисунке 3 а, б представлены контуры объемной доли воды и ее скорости течения в углах и на стенке канала при расходе $Q = 2,77 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$. Результаты рисунка 3 имеют не существенные различия по сравнению с 2. Но стоит отметить, что при данном расходе струйка воды на стенке канала (рисунок 3 а) имеет более целостную структуру и разделяется на капли у самого выхода. Максимальная скорость воды 1,35 м/с.

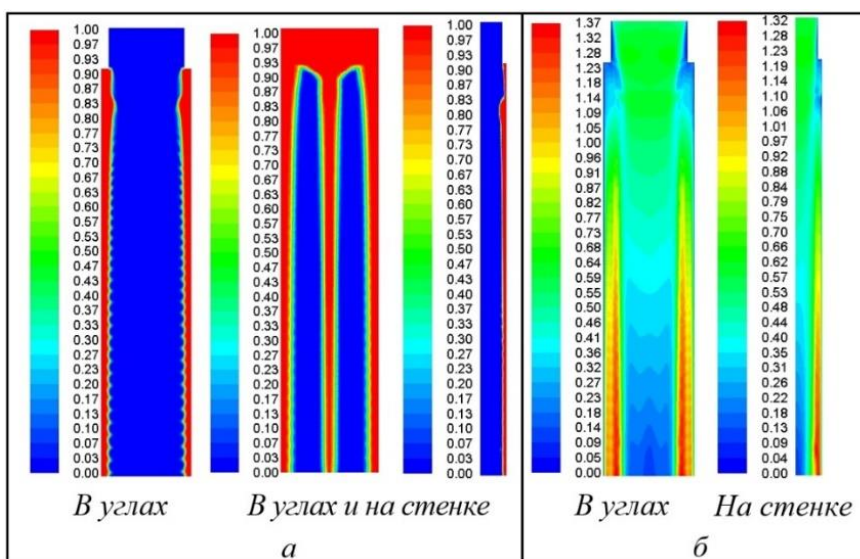
На рисунке 4 а, б представлены контуры объемной доли воды и ее скорости течения в углах и на стенке канала при расходе

$Q = 4,16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$. На рисунке 4 а видно, что стенка у входа смочена значительно больше, а струйки жидкости на стенке и в углах имеют большую ширину и толщину по сравнению с рисунком 2, 3. Максимальная скорость воды 1,37 м/с.



а – объемная доля, б – скорость

Рисунок 3 – Контуры струек воды в канале треугольного сечения



а – объемная доля, б – скорость

Рисунок 3 – Контуры струек воды в канале треугольного сечения

В заключении можно сказать, что при максимальном расходе наблюдается наилучшее смачивание стенок канала и целостность структуры струек. Максимальная скорость составила 1,37 м/с, что подтверждается значением скорости, полученной по формуле Торричелли, которое равно 1,4 м/с. Полное смачивание канала насадки не достигнуто, однако нам известно, что необходимо изменить для достижения этого результата. Цели поставленные в начале работы достигнуты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайтехович П.Е., Мытько Д.Ю. Сравнительный анализ эффективности регулярных насадок для массообменных аппаратов // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2020. № 2. С. 44–49.

2. П.Е. Вайтехович, Д.Ю. Мытько, А.М. Волк. Влияние геометрических параметров регулярной структурированной насадки на гидродинамику и массообмен // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2021. № 2. С. 67–71.

УДК 621.565.93/.95-0.46.54(043.3)

Е.С. Данильчик, ассист.; А.Б. Сухоцкий, доц., канд. техн. наук;
В.Н. Фарафонов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ОБОБЩЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПО СВОБОДНО-КОНВЕКТИВНОМУ ТЕПЛООБМЕНУ ВОЗДУХООХЛАЖДАЕМЫХ ОДНОРЯДНЫХ ПУЧКОВ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОРЕБРЕННЫХ ТРУБ С КРУГЛЫМИ АЛЮМИНИЕВЫМИ РЕБРАМИ

Теплообменники воздушного охлаждения (ТВО) получили распространение в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, газовой, целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности, в тепло- и электроэнергетике, в холодильной технике, на атомных станциях, в системах воздушного отопления и вентиляции, благодаря их экологичности и отсутствия потребности в охлаждающей воде. Теплообменные аппараты в основном эксплуатируются в режиме вынужденной конвекции воздуха на привод которых затрачивается огромное количество электроэнергии. Одним из действенных направлений реализации энергосберегающих технологий является расширенное применение свободной конвекции с уменьшением или исключением теплообменных процессов с вынужденной конвекцией.

В работе проведено обобщение полученных результатов в ходе экспериментального исследования однорядного пучка из шести труб, представленного в работе [1]. Геометрические размеры биметаллических оребренных труб со спиральными накатными ребрами следующие: наружный диаметр оребрения $d = 56,0$ мм; диаметр трубы по основанию $d_0 = 26,8$ мм; высота ребра $h = 14,6$ мм; шаг ребра $s = 2,5$ мм; средняя толщина ребра $\Delta = 0,5$ мм; коэффициент оребрения трубы $\phi = 19,3$ (I тип, $h / s = 5,84$). Материал ребристой оболочки – алюминиевый сплав АД1М, материал несущей трубы – углеродистая сталь, длина трубы $l_n = 330$ мм (теплоотдающая длина $l = 300$ мм). Диаметр несущей трубы $d_n = 25$ мм, толщина стенки $\delta = 2$ мм. Для изменения

высоты оребрения трубы ее ребра стачивались путем шлифования с образованием новых типов труб, а компоновка однорядных пучков проводилась с постоянным относительным поперечным шагом $\sigma_1 = S_1 / d = 1,14 = \text{const}$: II тип – $h / s = 4,80$; III тип – $h / s = 3,20$; IV тип – $h / s = 1,64$; V тип – $h / s = 0,80$; VI тип – условно гладкая труба [2], $h / s \approx 0$. Все типы пучков изучались при следующих углах наклона осей труб к горизонтальной плоскости: $\gamma = 0, 15, 30, 45, 60$ и 90° .

Получены зависимости поправочных коэффициентов $C_\gamma = \text{Nu}_\gamma^{h/s} / \text{Nu}_{\gamma=0^\circ}^{h/s}$ на угол наклона γ к горизонту с отклонением $\pm(2-10)\%$ для различных типов однорядного пучка (рисунок 1 а) [1] и поправочных коэффициентов $C'_{h/s} = \text{Nu}_{h/s}^\gamma / \text{Nu}_{h/s \rightarrow 0}^\gamma$ на относительную высоту ребра h/s труб однорядного пучка при различных углах его наклона γ . Для оценки увеличения теплового потока оребренного пучка по сравнению с гладким пучком использовался коэффициент $C'_{h/s} \varphi = C'_{h/s} = (\alpha_k F)_{h/s} / (\alpha_k F)_{h/s \rightarrow 0}$ с отклонением $\pm(2-18)\%$ (рисунок 1 б). Физический смысл данного коэффициента $C'_{h/s} \varphi$ следующий – удельное (на единицу температурного напора $\Delta t = 1^\circ\text{C}$) увеличение теплового потока от оребренного пучка к воздуху по сравнению с гладким пучком.

Коэффициенты определялись как среднее арифметическое расчетных точек на исследованном диапазоне $\text{Ra} = 33\,000-460\,000$.

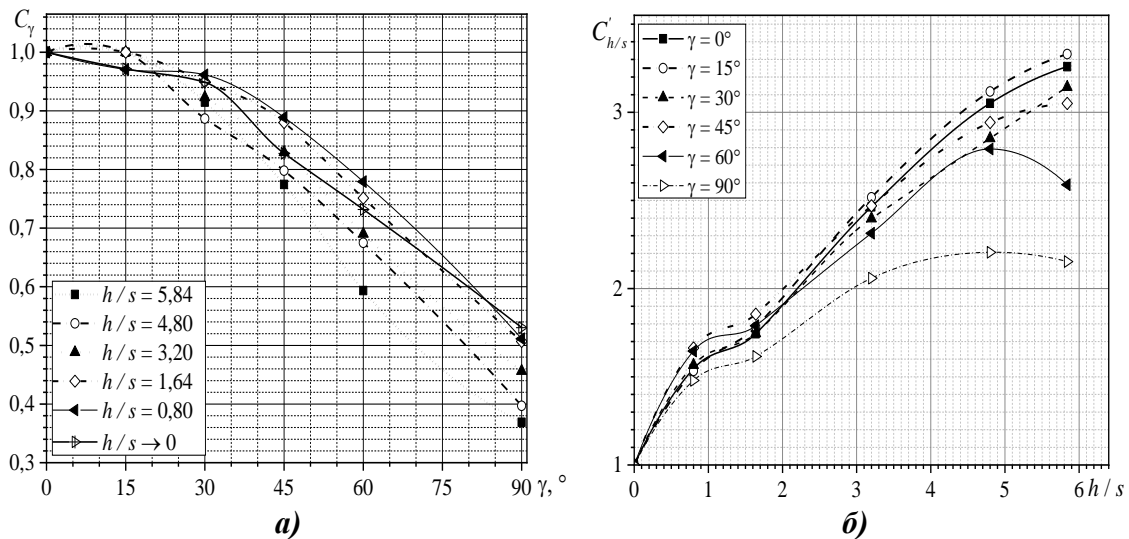


Рисунок 1 – Графические зависимости поправочных коэффициентов:

а) $C_\gamma = f(\gamma)$ и б) $C'_{h/s} = f(h/s)$ при определении теплоотдачи однорядного пучка различных типов I–VI при углах наклона $\gamma = 0, 15, 30, 45, 60$ и 90° в режиме свободной конвекции

Экспериментальные данные по теплоотдаче однорядного пучка в режиме свободной конвекции с погрешностью от 12 до 28% обобщены уравнением вида

$$\text{Nu} = 0,943 \cdot \text{Ra}^{0,18} C_{\gamma}^0 C_{h/s}^{\gamma}, \quad (1)$$

где C_{γ}^0 – поправочный коэффициент гладкого горизонтального однорядного пучка на угол наклона к горизонту в интервале $\gamma = 15\text{--}90^{\circ}$ (рисунок 1 а, сплошная жирная линия); $C_{h/s}^{\gamma} = C'_{h/s} / \varphi$ – поправочный коэффициент гладкого однорядного пучка при углах наклона в интервале $\gamma = 0\text{--}90^{\circ}$ на относительную высоту ребра труб в пределах $h/s = 0,8\text{--}5,84$ (рисунок 1 б).

Таким образом, оценка тепловой эффективности однорядных пучков с различной высотой ребра труб проводилась с помощью коэффициента увеличения теплового потока оребренного пучка по сравнению с гладким пучком, учитывающего теплоотдачу и площадь пучка. Из рис. 1, б видно, что рост высоты ребра труб однорядного пучка приводит к возрастанию коэффициента увеличения теплового потока оребренного пучка в 1,5–3,3 раза. Максимальное его увеличение (более чем в 2 раза) достигается при эффективной высоте ребра $h_{\text{эф}} > 0,0115$ м ($h/s > 4,6$) в зависимости от угла наклона труб пучка. Причем с ростом угла наклона эффективная высота $h_{\text{эф}}$ ребра уменьшается. В однорядном горизонтальном пучке (тип VI) эффективная высота ребра (более 0,0145 м) выше, чем у одиночной горизонтальной трубы (около 0,0123 м), что объясняется влиянием турбулизации потока воздуха верхушками ребер соседних труб. У вертикальных трубы [3] и однорядного пучка эффективная высота ребра примерно одинакова от 0,0108 до 0,0115 м, т.к. воздух между трубами вертикального пучка практически не движется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данильчик Е.С. Экспериментальные исследования эффективности однорядного пучка из биметаллических оребренных труб с различной высотой оребрения при свободно-конвективном теплообмене с воздухом / Е.С. Данильчик, А.Б. Сухоцкий, В.Б. Кунтыш // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. – Т.22, № 5. – С. 128–141.
2. Данильчик Е. С. Экспериментальные исследования теплоотдачи одиночной биметаллической ребристой трубы с различной высотой оребрения к воздуху в режиме свободной конвекции // Тепло- и массоперенос – 2019 : сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова ; редкол.: О.Г. Пенязьков (гл. ред.) [и др.]. Минск, 2020. – С. 42–52.
3. Данильчик Е. С. Экспериментальные исследования влияния угла наклона оребренной трубы на свободно-конвективную теплоотдачу теплообменников воздушного охлаждения / Е.С. Данильчик, А.Б. Сухоцкий // Энергоэффективность, 2020. – № 7. – С. 16–20.

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ АБСОРБЦИОННОЙ КОЛОННЫ С ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

Мокрая очистка – один из эффективных способов удаления загрязнений из газов. Мокрые пылеулавители (скрубберы и абсорберы) просты по конструкции. Широкое распространение в пылеулавливании получили аппараты с подвижной насадкой, несмотря на то, что появились они сравнительно недавно. Аппараты с подвижной насадкой могут работать при различных режимах.

В аппаратах с подвижной насадкой увеличение эффективности процессов массообмена обеспечивается псевдооживленными насадочными телами. Насадки, находящиеся внутри аппарата, удерживаются в подвешенном состоянии потоком газа. Жидкость, орошающая насадку, создает пленку, закрывающую поверхность насадочных тел, или, в более насыщенных режимах, включается в состав барботажного газожидкостного слоя, либо находится в виде струй и капель, распределенных в газе [1].

Для проведения эксперимента был выбран абсорбер, использующийся на первой стадии очистки вентвоздуха абсорбционно-биохимической установкой [2], разделенный поперечными газораспределительными решетками на секции. В аппарате находится три секции. На решетки помещается насадка из элементов шарообразной формы (рисунок 1). Высота слоя насадки [3] 0,37 от высоты слоя. Отношение диаметра аппарата к диаметру шаров составляет 6,9.



Рисунок 1 – Насадка в абсорбционной колонне

В аппарате были несколько различных входных патрубков (рисунок 2): тангенциальный, радиальный и радиальный под углом 30°.

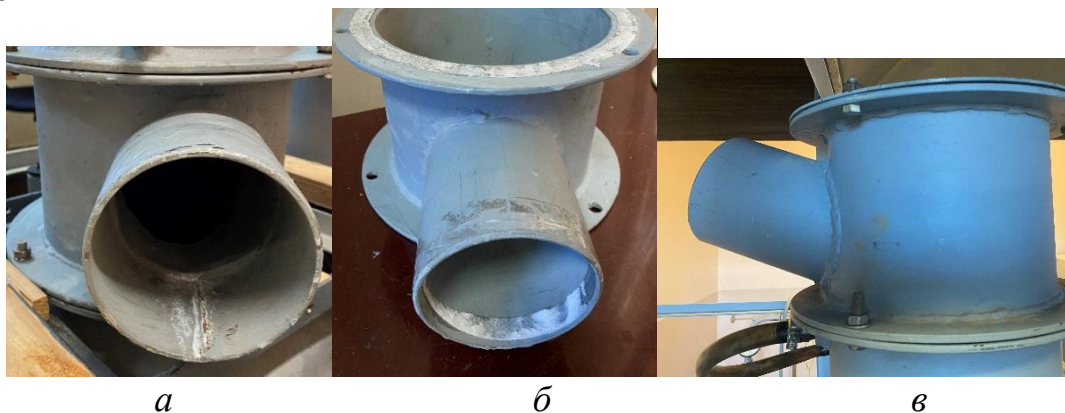


Рисунок 2 – Входные патрубки: а – тангенциальный; б – радиальный; / в – радиальный под углом 30°

В ходе эксперимента действительная скорость газа в колонне изменялась в диапазонах от 1,7 до 4 м/с, что соответствует расходу 500 м³/час. Были составлены графики зависимости гидравлического сопротивления ΔP , Па от скорости газа ω , м/с в колонне без орошения, на каждой секции (рисунки 3-5).

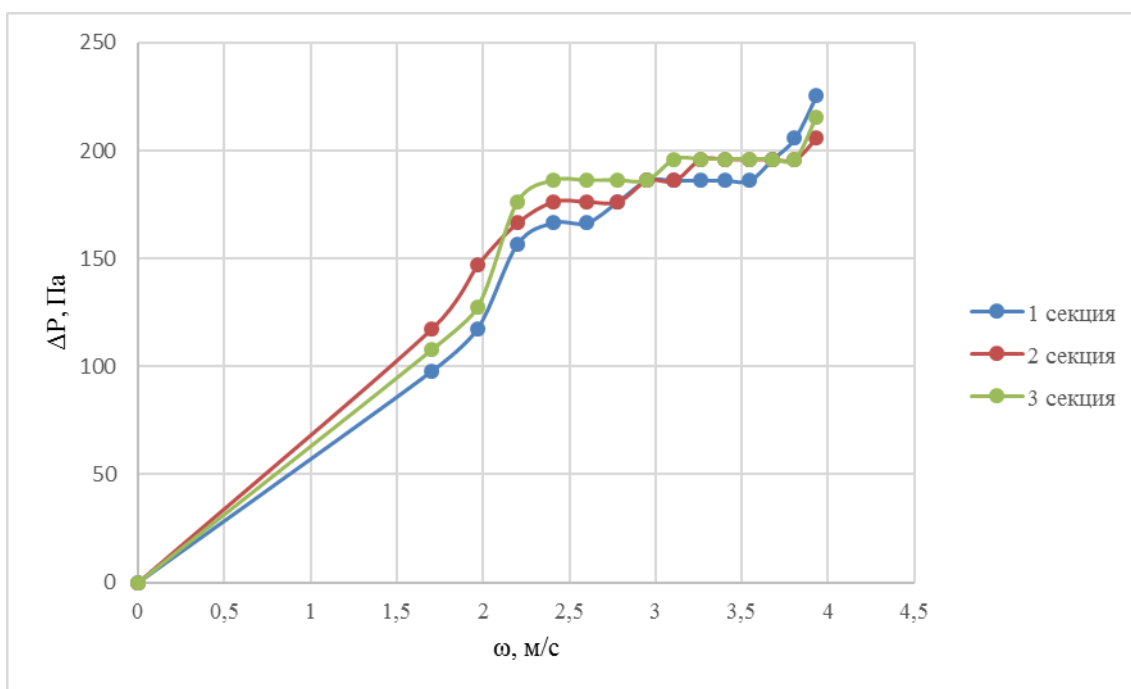


Рисунок 3 – Зависимость гидравлического сопротивления ΔP , Па от скорости газа ω , м/с в колонне с тангенциальным входным патрубком

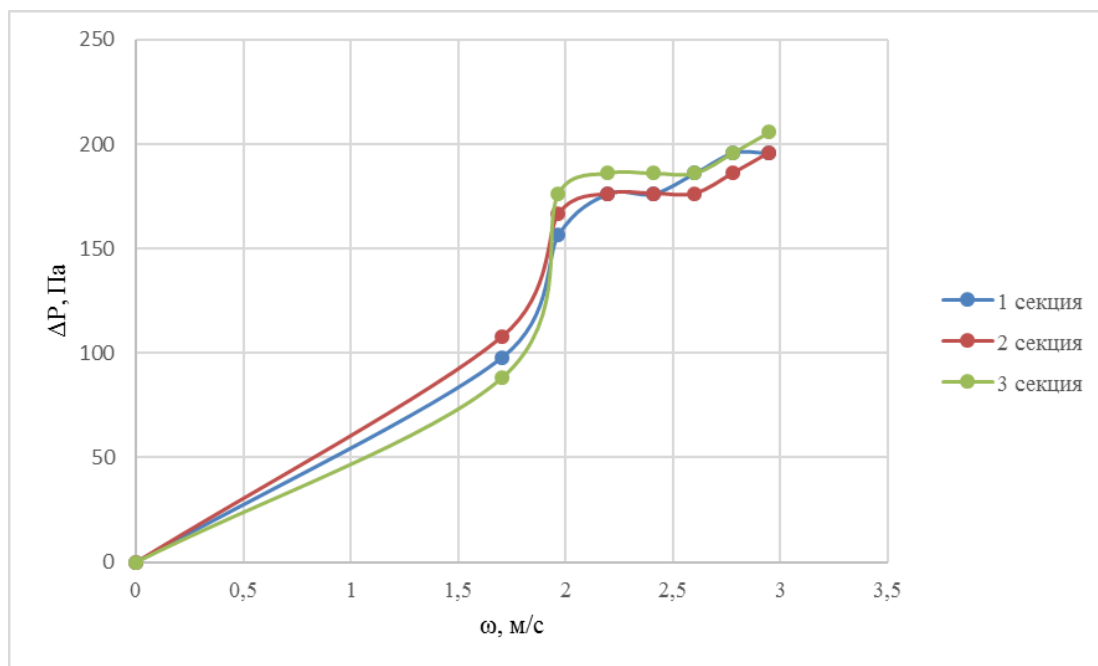


Рисунок 4 – Зависимость гидравлического сопротивления ΔP , Па от скорости газа ω , м/с в колонне с радиальным под углом 30° входным патрубком

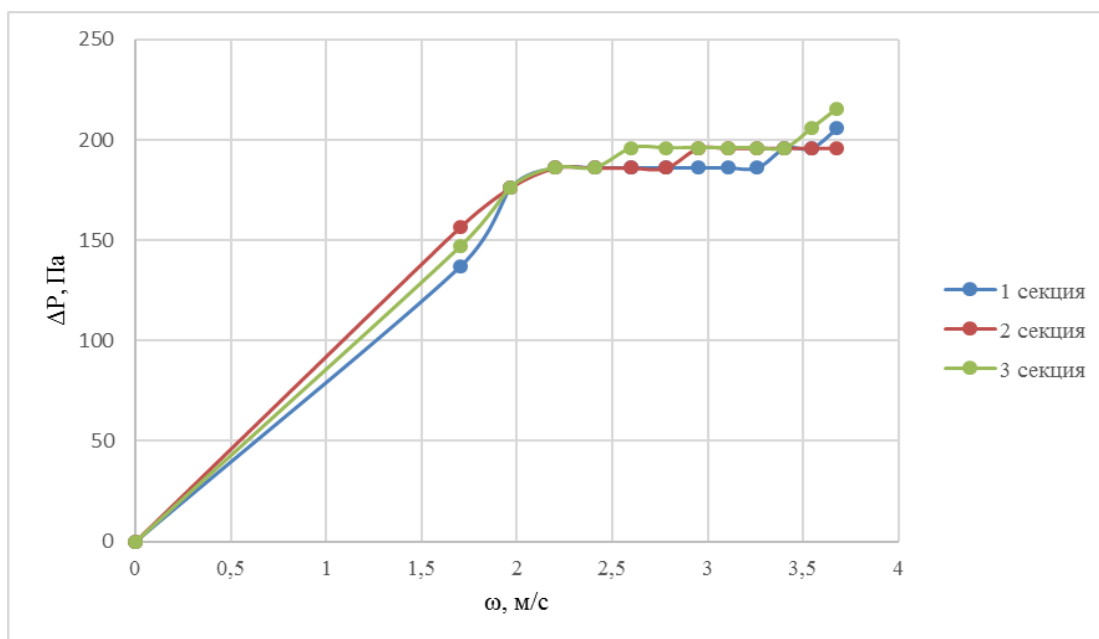


Рисунок 5 – Зависимость гидравлического сопротивления ΔP , Па от скорости газа ω , м/с в колонне с радиальным входным патрубком

При смещенном и прямом входах начало псевдооживления наблюдалось при скорости газа в колонне в диапазоне 2,2-2,4 м/с. А при скорости 3,4-3,5 м/с наблюдалось «полное» псевдооживление. Но при скорости свыше 3,7 м/с наблюдалось хаотическое движение насадки. Затем был составлен график зависимости сопротивления колонны ΔP , Па от скорости газа ω , м/с в колонне без орошения, на каждой секции (рисунок 6).

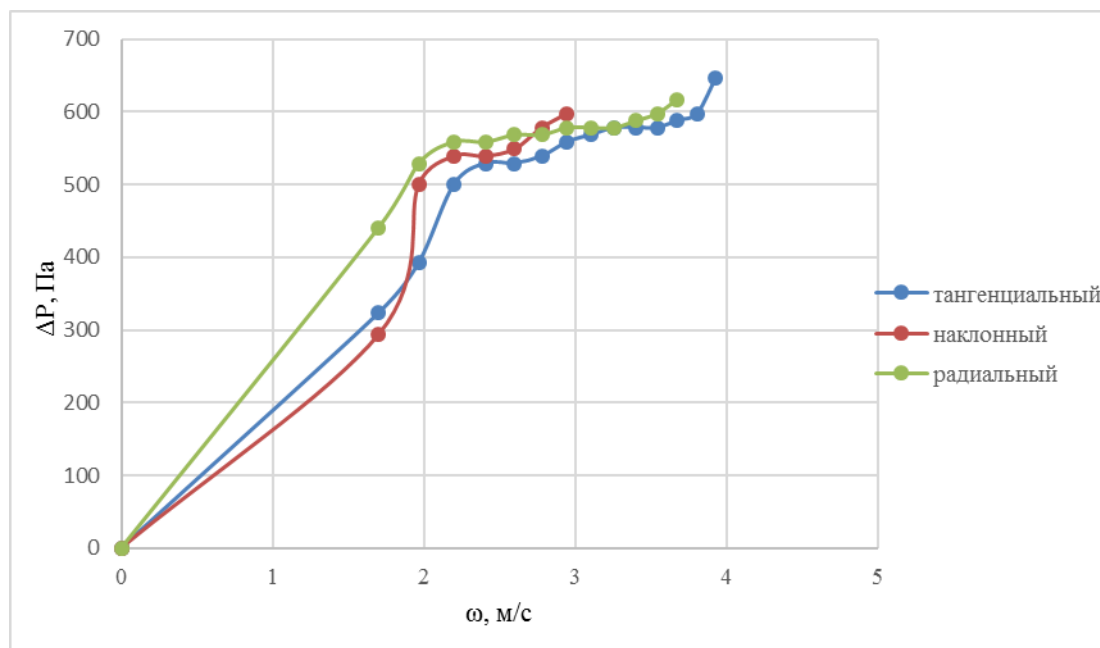


Рисунок 6 – Зависимость гидравлического сопротивления ΔP , Па от скорости газа ω , м/с в колонне

В результате изучения гидравлических характеристик установлено, что сопротивление в колонне меньше с радиальным входным патрубком. Этот вариант выберем за базовый для дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ланкин, Р.И. Гидродинамика в аппаратах с подвижной насадкой / Р.И. Ланкин, В.С. Францкевич, Ю.П. Шаповалов // Нефтехимия – 2021: материалы IV Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 22–24 ноября 2021 г. – Минск: БГТУ, 2021. – С. 228–231.
2. Шаповалов, Ю.П. Абсорбционно-биохимические установки для очистки вентиляционного воздуха от летучих органических соединений / Ю.П. Шаповалов, А.С. Галибус, А.И. Сударев, Е.М. Глушень // Экология производства. Технологии и оборудование. – 2019. – №9. – С. 2–13.
3. Балабеков, О.С. Расчет и конструирование теплообменных и пылеулавливающих аппаратов с подвижной и регулярной насадкой: Монография / О.С. Балабеков, А.А. Волненко. – Шимкент, 2015. – 184 с.

И.А. Левданский, асп.; А.А. Ковалева, асп.;
С.В. Нестерова, доц., канд. хим. наук;
А.Э. Левданский, зав. кафедрой, д-р техн. наук (БГТУ, г. Минск)

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВЛАГИ СКОРОСТНЫМ ГАЗОВЫМ ПОТОКОМ В АППАРАТАХ С ПЕРФОРИРОВАННЫМИ ДУГООБРАЗНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Одним из наиболее распространённых процессов химической технологии является сушка. Этот процесс широко применяется при производстве минеральных солей, полимерных материалов, красителей и т.д.

Одним из главных недостатков процесса сушки является весьма высокое энергопотребление. Тепло в процессе сушки расходуется на нагрев материала, на преодоление связи влаги с материалом и на испарение влаги. Снижение удельного расхода топлива на сушку является актуальной задачей. Также известно о других способах по обезвоживанию материалов. Если в исходном материале содержится большое количество влаги, то значительную часть ее стремятся удалить механическим способом без использования тепла. Этот способ во много раз дешевле сушки. Как правило, механический способ обезвоживания осуществляют в две стадии. На первой стадии основная масса влаги удаляется в различных конструкциях сгустителей (сепараторов), а на второй стадии с помощью фильтров или центрифуг и только после этого материал направляется на сушку.

Известно несколько научных работ [1–3], где рассматриваются теоретические и экспериментальные исследования по глубокому обезвоживанию полидисперсных материалов путем воздействия на них скоростного низкотемпературного воздушного потока. Однако в этих исследованиях не решается целый ряд проблем, которые возникают при осуществлении этого способа. Основные проблемы, возникающие при реализации упомянутого способа удаления поверхностной влаги, – это создание высокой разности скоростей между газом и твердой фазой, а также разделения фаз после взаимодействия. Как следствие предлагаемый способ до сих пор не осуществлен практически.

С учетом выявленных недостатков нами разработаны новые эффективные конструкции для глубокого обезвоживания полидисперсных материалов [4].

В разработанных нами осушающих аппаратах, на уменьшение поверхностной влаги частиц, влияет ряд параметров:

- скорость газового потока в канале – параметр, обеспечивает необходимую для срыва поверхностной влаги разность скоростей газа и частиц;

- скорость истечения газовой среды через отверстия перфорированной поверхности канала – параметр, обеспечивает своевременный отвод из рабочей зоны отделенной влаги;

- концентрация твердых частиц в газовом потоке – параметр, определяет гидродинамическую картину движения многофазной системы в канале и производительность осушающего аппарата.

Установление закономерностей влияния перечисленных параметров на процесс механической осушки материалов являются основными задачами наших последующих исследований.

Для решения поставленных задач была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка, представленная на рисунке 1.

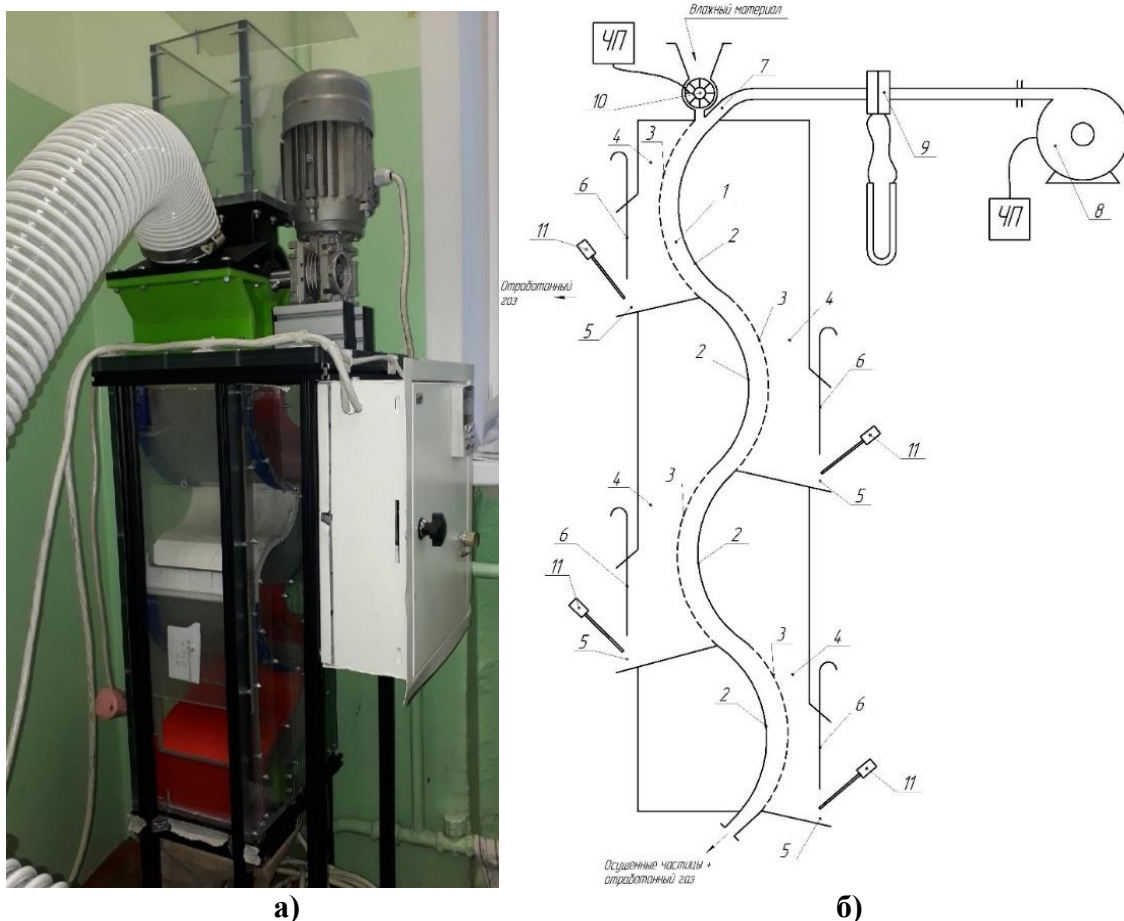


Рисунок 1 – Экспериментальная установка для исследования процесса удаления поверхностной влаги скоростным газовым потоком

- а) – изображение экспериментальной установки;
- б) – принципиальная схема экспериментальной установки

Основой экспериментальной установки является четырех секционный аппарат удаления поверхностной влаги с частиц сыпучего материала. Аппарат состоит из дугообразного канала 1, сформированного двумя видами дугообразных поверхностей: сплошной 2 и перфорированной 3. В каждой секции чередуется взаимное расположение этих поверхностей. За перфорированной поверхностью 3 для каждой секции выполнены камеры 4 с патрубками 5 отвода отработанного газа с каплями удаленной поверхностной влаги. Патрубки 5 оснащены шиберами 6. Шибера 6 позволяют регулировать расход газа проходящего через отверстия перфорированной поверхности 3 в каждой секции аппарата. Данное техническое решение позволяет регулировать скорость истечения газового потока через отверстия перфорированных поверхностей 3 для каждой секции аппарата в отдельности. Количество воздуха проходящего через отверстия перфорированной поверхности 3 в каждой секции определялось путем замера скорости воздуха в патрубках 5 при помощи зонда 11.

Газовый поток в дугообразный канал 1 через патрубок 7 нагнетался центробежным вентилятором 8. Двигатель вентилятора был подсоединен к электрической сети через преобразователь частоты, что позволяло изменять частоту вращения колеса центробежного вентилятора. Возможность регулировки частоты вращения колеса центробежного вентилятора, позволяло устанавливать необходимый расход воздуха. Само значение расхода воздуха определялось с помощью расходомерной диафрагмы 9 с дифференциальным манометром. В экспериментальной установке предусмотрена и возможность изменения расхода подачи влажных твердых частиц в дугообразный канал 1. Регулировка расхода по твердым частицам достигается путем изменения частоты вращения ротора питателя 10.

Небольшая часть результатов проведенных экспериментов представлена на рисунке 2.

На рисунке приведены графические зависимости влажности материала W (г/г) от расхода воздуха V ($\text{м}^3/\text{с}$). В экспериментах использовались гранулы полиэтилена с размером частиц 4 мм, гранулы полипропилена с размером частиц 3 мм, гранулы SAN с размером частиц 0,1-2 мм.

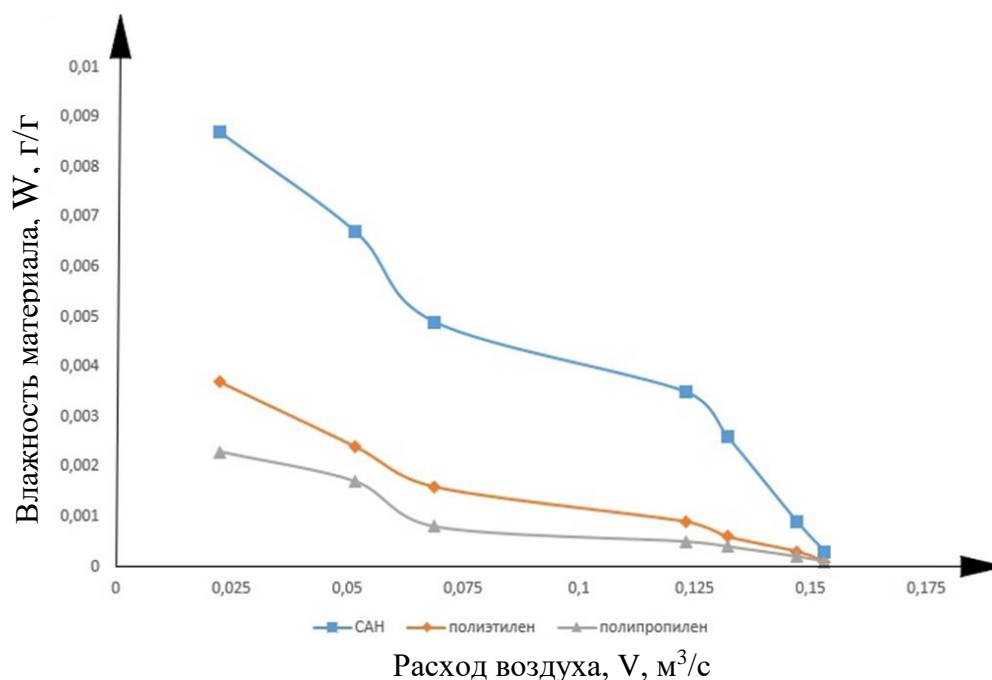


Рисунок 2 – Графические зависимости изменения влажности материала от расхода воздуха

Из представленных графических зависимостей видно, что используя разработанные нами конструкции аппаратов механической сушки можно достичь влажности материалов до 0,01 %, и отказаться от их последующей термической сушки.

ЛИТЕРАТУРА

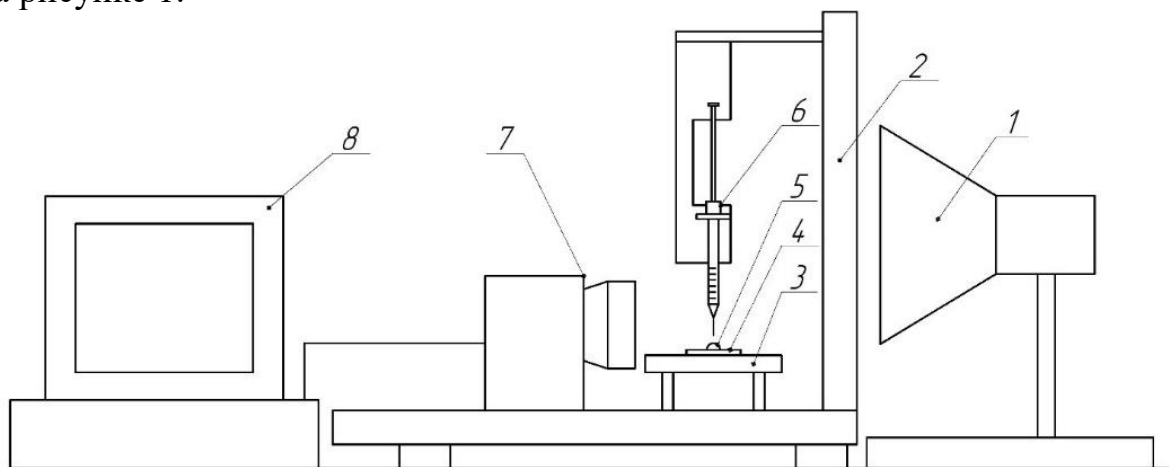
1. Филипов, В.А. Технология сушки и термоаэроклассификации углей / В.А. Филипов. – М.: Недра, 1980. – 287 с.
2. Муштаев, В.И. Сушка в условиях пневмотранспорта/ В.И. Муштаев, В.М. Ульянов, А.С. Тимонин. – М.: «Химия», 1984. – 230 с.
3. Сорока, Е.И. Разработка комбинированного способа сушки, основанного на дезагрегации дисперсных материалов и механическом уносе влаги с целью экономии топлива: автореф. дис. ... к.т.н: 05.16.02 / Е.И. Сорока; ВНИИ металлург. теплотех. – Свердловск, 1990. – 25 с.
4. Сушильный аппарат : заявка на патент на изобретение № а 20210147 / И.А. Левданский, А.А. Ковалева, С.В. Нестерова, А.Э. Левданский.

А.А. Ковалева, асп.; П.С. Кулевец, инж.;
 А.Э. Левданский, зав. кафедрой, д-р техн. наук;
 Е.В. Опимах, ст. преп., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Мерой смачивания жидкостью твердых тел является краевой угол. Принято считать, что при измерениях краевого угла смачивания, поверхность твердого тела абсолютно гладкая и однородная [1]. На практике поверхность реальных твердых тел имеет определенную шероховатость и неоднородность. Необходимость определения характеристик смачивания в системе «реальное твердое тело – жидкость» обусловлена использованием данного явления при флотационном разделении полимерных материалов и в различных других процессах [2].

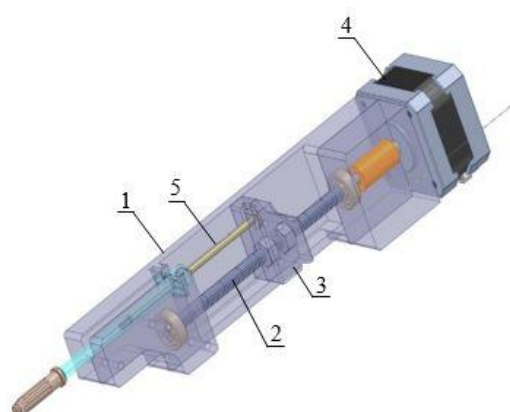
Для определения краевого угла смачивания авторами была разработана установка, структурная схема которой представлена на рисунке 1.



1 – источник света; 2 – светофильтр; 3 – предметный столик с уровнемером;
 4 – исследуемый образец; 5 – капля; 6 – устройство дозирования;
 7 – цифровой фотоаппарат; 8 – компьютер

**Рисунок 1 – Структурная схема установки по определению
 краевого угла смачивания**

Контакты шагового электродвигателя дозирующего устройства, представленного на рисунке 2, соединены с контроллером ESP32, в котором установлено открытое программное обеспечение ESP32 GRBL.



1 – корпус; 2 – вращающийся вал с резьбой; 3 – каретка;
4 – шаговый электродвигатель; 5 – поршень

Рисунок 2 – Устройство дозирования капли

В таблице представлены характеристики дозирующего устройства.

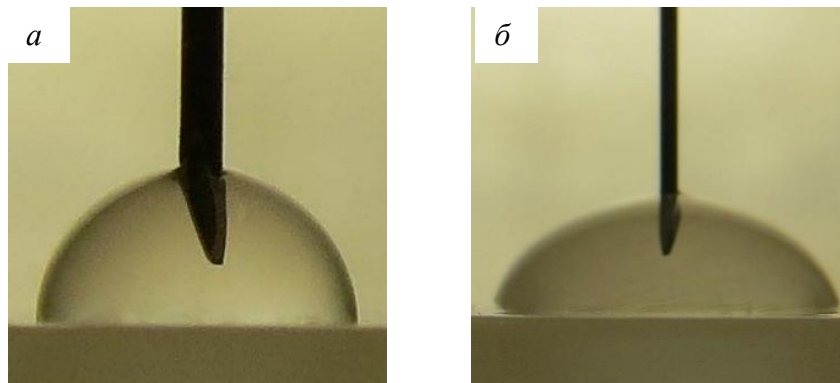
Таблица – Характеристики дозирующего устройства

Характеристика	Значение
Радиус поршня	1,78 мм
Площадь поршня	9,95 мм ²
Шаг резьбы шпильки	1 мм
Шаг ротора двигателя	1,8 °
Продольное перемещение поршня за один шаг ротора	0,005 мм
Объем жидкости за один шаг ротора	0,050 мм ³
Объем жидкости за один оборот ротора	9,954 мм ³
Фармацевтическая мера капли, принятая для водных растворов	0,05 мл
Количество оборотов ротора для одной капли	5 шт.
Продольное перемещение поршня для одной капли	5 мм
Максимальный ход поршня	50 мм

Процедура измерения краевого угла смачивания включает следующие действия. На столик устанавливается исследуемый образец. На поверхность образца, предварительно обезжиренную этиловым спиртом, при помощи устройства дозирования капли наносится капля жидкости объемом ~ 0,05 мл. Система капля-образец стабилизируется в течение 10–15 минут. Затем каплю освещают источником света, а ее профиль фиксируют при помощи цифровой камеры, связанной с компьютером. Изображение сохраняется в формате JPEG. Полученное изображение увеличивается до необходимого размера и по фотографии капли определяют параметры, необходимые для расчета краевого угла смачивания. Данную процедуру повторяют 10 раз на пяти различных участках поверхности образца. Измерения краевого угла смачивания производят при помощи специального программного обеспе-

чения с онлайн доступом «Drop UI», по лицензионному соглашению.

На рисунке 3 представлены результаты измерения краевого угла смачивания полипропилена дистиллированной водой и раствором лаурилсульфата натрия, с концентрацией $0,03 \text{ г/дм}^3$.



а – дистиллированная вода;

б – раствор лаурилсульфата натрия, с концентрацией $0,03 \text{ г/дм}^3$

Рисунок 3 – Краевой угол смачивания полипропилена

При нанесении дистиллированной воды на поверхность полипропилена, краевой угол смачивания составил 81° . Краевой угол смачивания полипропилена раствором лаурилсульфата натрия, с концентрацией $0,03 \text{ г/дм}^3$, составил 53° .

При измерении краевого угла методом лежащей капли возможная ошибка может составлять 3–5%. Краевой угол очень малых капель принимают, что капля сферична. Это несколько повышает точность измерения, и погрешность измерений, в данном случае, 2–3%.

Работа выполнялась в рамках задания 4.2.9 ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии».

ЛИТЕРАТУРА

1. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. – М.: Мир, 1979. – 568 с.

2. Левданский А.Э. Изучение влияния концентрации поверхностно-активных веществ на процесс флотационного разделения измельченных пластмасс / А. Левданский [и др.] // Вестник КазНУ. – 2019. – №6. – С. 893–900.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОХЛАДИТЕЛЯ ГРАНУЛИРОВАННОГО МАТЕРИАЛА

Равномерное распределение хладогента через слой пористого или гранулированного материала представляет собой важную задачу. Одним из возможных путей исследования и оптимизации такого процесса является применение современных методов вычислительной гидродинамики [1, 2].

Ранее сотрудниками кафедры процессов и аппаратов химических производств Белорусского государственного технологического университета была проанализирована работа системы охлаждения полимерного гранулята [3]. Однако анализ был проведен на уровне работы всей установки без учета влияния конструкции охладителя шахтного типа. Поэтому цель работы заключалась в моделировании течения потока охлаждающего азота в охладителе через слой охлаждаемого гранулята полиамида 6 для определения оптимальных технологических и конструктивных параметров процесса.

Была построена трехмерная модель шахтного охладителя. В принимаемой модели основные геометрические параметры были использованы по существующей установке, работающей на Гродненском заводе «Химволокно».

В качестве расчетной области была выделена внутренняя полость охладителя и штуцера, в которых движется поток газа. Модель создавалась в приложении SpaceClaim Design Modeller и рассчитывалась с помощью программы Ansys Fluent. Для численного решения расчетная область была разделена локально-сгущающейся адаптивной тетраэдральной сеткой с минимальным размером элемента 10^{-4} м.

В результате численного моделирования были проанализированы распределения температурных профилей, скорости газа и поле давления по объему охладителя при различных конструктивных и технологических параметрах агрегата. Для всех вариантов исследования были получены данные распределения локальных скоростей газового потока по диаметру аппарата на различных отметках по высоте охладителя. Получены зависимости расхода и скоростей газа через охладитель от начальной температуры азота. Так же были построены зависимости гидравлического сопротивления неподвижного слоя гранулята при различных температурах охлаждающего агента от его расхода.

Было проанализировано влияние конусной вставки, расположен-

ной в нижней части охладителя. В результате анализа было установлено, что конусная вставка оказывает влияние на эффективность охлаждения гранулята лишь вблизи установки конуса. Это происходит за счет увеличения скорости свежего хладагента и, как следствие, локального увеличения коэффициента отдачи. Однако конусная вставка не приводит к интенсификации охлаждения в масштабе всего охладителя. Использование конусной вставки приводит к увеличению гидравлического сопротивления охладителя.

В результате выполнения данной работы, на основе современного, высокоэффективного и экономичного метода моделирования, показана возможность оптимизации конструктивных и режимных параметров охладителя гранулированного материала. При анализе результатов, полученных при выполнении работы, выявлены влияния начальной температуры хладагента, его расхода, использование конусной вставки на процесс охлаждения гранулята полиамида 6. Получены зависимости, с помощью которых можно произвести выбор оптимального расхода хладагента при допустимом гидравлическом сопротивлении и приемлемой начальной температуре азота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Опимах, Е.В. Оптимизация конструкции пневматического аэратора численным моделированием / Е.В. Опимах, А.Э. Левданский, Н.С. Ушак // Химическая технология и техника : тезисы 83-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 2019 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. В. Войтов; УО БГТУ. – Минск : БГТУ, 2019. – 1184 с. – С. 78.

2. Хасанов, Р.М. Моделирование двухфазного процесса аэрации жидкости одиночным затопленным отверстием / Р.М. Хасанов, А.Э. Левданский, Е.В. Опимах // Химическая технология и техника : материалы 84-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), 3–14 февраля 2020 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. В. Войтов; УО БГТУ. – Минск: БГТУ, 2020. – 364 с. – С. 162–163.

3. Левданский, А.Э. Анализ работы системы охлаждения полимерного гранулята / А.Э. Левданский, Д.Г. Калишук, Н.П. Саевич, Е.В. Опимах // Химическая технология и техника : материалы 84-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), 3–14 февраля 2020 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. В. Войтов; УО БГТУ. – Минск: БГТУ, 2020. – 364 с. – С. 140–141.

УДК546.02/.05

М.А. Осипенко, асп.; А.А. Касач, ассист.;
Е.О. Богдан, доц., канд. техн. наук;
И.И. Курило, доц., канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск)

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА МДО НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ МАГНИЕВОГО СПЛАВА AZ91 В ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРАХ

Магний и его сплавы относятся к группе самых легких металлов, применяемых в автомобилестроении, аэрокосмической промышленности, а также в медицине [1]. Однако широкое повсеместное использование сплавов магния ограничено их низкой коррозионной стойкостью. Сплавы магния серии AZ (Mg–Al–Zn) являются представителями одной из самых популярных групп сплавов, используемых в промышленности [2]. Повышение защитных характеристик магния и его сплавов может включать в себя поверхностное упрочнение, нанесение конверсионных покрытий, а также микродуговое оксидирование (МДО). Процесс МДО приводит к наращиванию на поверхности сплава устойчивой защитной оксидной пленки. В настоящее время популярными электролитами для МДО магния являются силикатный и фосфатный. Установлено, что пленки, формируемые в силикатном электролите в процессе МДО, более компактные и толстые, а также характеризуются большей изоляционной способностью [3].

Целью работы было изучение влияния микродугового оксидирования образцов магниевого сплава AZ91 на структуру, состав и коррозионную устойчивость в физиологических средах формируемых поверхностных пленок.

Для проведения процесса МДО использовали стандартный силикатный электролит. Параметры процесса МДО: активационный импульс 1 А/3 сек., импульс 0.1 А/50 мсек. + 0.08 А/50 мсек. + пауза/50 мсек. × 2000 повторений.

Микроструктуру и элементный состав поверхности образцов изучали методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и энергодисперсионного рентгеновского микроанализа (EDX) с использованием микроскопа JEOL JSM-5610 LV, оснащенного модулем химического микрорентгеноспектрального анализа EDX JED-2201.

Оценку коррозионной стойкости полученных покрытий проводили в BSF-растворе с использованием потенциостата/гальваностата PGSTAT 302N (MethromAutolab), оснащенного модулем импеданса FRA32M. В исследованиях использовали насыщенный хлоридсереб-

ряный электрод в качестве электрода сравнения и платиновую сетку в качестве вспомогательного электрода. Спектры импеданса регистрировали в диапазоне частот 10^6 – 10^{-2} Гц с амплитудой колебаний тока 10 мВ.

На рисунке 1 представлены микрофотографии образцов сплава AZ91 после процесса МДО. Установлено, что в процессе МДО происходит формирование трехслойной оксидной пленки, состоящей из тонкого плотного барьерного слоя, тонкого среднего подслоя и внешнего толстого пористого слоя. Анализ микрофотографий показал, что внешний слой представляет собой пористую ячеистую слоистую оксидную пленку с размером пор $\approx 2,0$ – $3,5$ мкм.

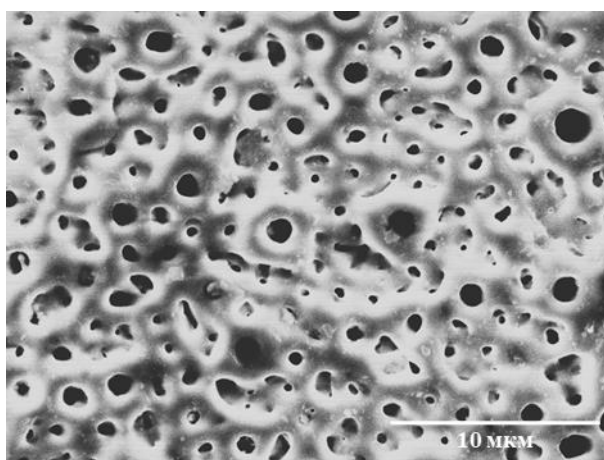


Рисунок 1 – Микрофотография поверхности образцов сплава магния AZ91 после МДО

Согласно данным EDX-анализа, основными элементами в структуре оксидного слоя являются магний, кислород и алюминий. Большое содержание кремния и фтора обусловлено использованием для формирования оксидного слоя силикатного электролита. Отсутствие на поверхности образца цинка и марганца, входящих в состав исходного сплава AZ91, может быть связано с интенсификацией процессов селективного растворения магниевой матрицы на границе раздела фаз «магний/цинксодержащая (или марганецсодержащая) интерметаллическая частица», что способствует переходу последних в электролит.

Результаты электрохимической импедансной спектроскопии (ЭИС) оксидированных образцов сплава магния AZ91 в BSF-растворе представлены в виде диаграмм Найквиста на рисунке 2.

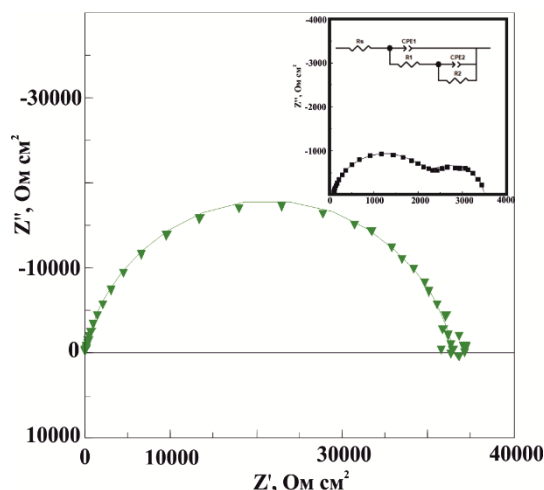


Рисунок –2 Спектры ЭИС в виде диаграмм Найквиста оксидированных образцов сплава магния AZ91 BSF-растворе

Установлено, что практически для всех модифицированных образцов на полученных диаграммах можно выделить две временные константы. Наличие полуокружности в области высоких и средних частот характерно для процессов с лимитирующей электрохимической стадией и объясняется электрическими свойствами поверхности. Полуокружность, наблюдаемая в области низких частот представленных спектров, свидетельствует о протекании двух параллельных процессов: разрушения поверхности и адсорбции образующихся продуктов коррозии на поверхности образца магниевых сплавов. Сравнение диаметров полуокружности модифицированного образца и образца сомнения показали, что проведение процесса МДО способствует увеличению общего сопротивления поверхности в 10 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. B. Darband, M. Aliofkhaezraei, P. Hamghalam and N. Valizade. Plasma electrolytic oxidation of magnesium and its alloys: Mechanism, properties and applications. – J. Magnes. Alloy. – 2017.
2. A. Němcová, P. Skeldon, G. E. Thompson and B. Pacal. Effect of fluoride on plasma electrolytic oxidation of AZ61 magnesium alloy. – Surf. Coatings Technol. – 2013. – Vol. 232. – P. 827–838.
3. И. А. Козлов, С. С. Виноградов, К. Г. Тарасова и др. Плазменное электролитическое оксидирование магниевых сплавов (обзор). Авиационные Материалы и Технологии. – 2019. – Vol. 1. – № 54. – P. 23–36.

Я.А. Афанасенко, магистрант;
М.А. Осипенко, асп.; И.И. Курило, доц., канд. хим. наук;
Г.П. Дудчик, доц., канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ МАРКИ СТАЛЬ 3 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНГИБИТОРОВ – ОРТОФОСФАТА НАТРИЯ И ТРИЭТАНОЛАМИНА

Несмотря на достаточно большое количество исследований в области, охватывающей совокупность научных и прикладных вопросов антикоррозионной защиты стали, проблемы защиты стальных поверхностей по-прежнему остаются весьма актуальными. Коррозия как разрушение – это один из примеров проявления второго начала термодинамики, согласно которому из всех возможных путей развития любой материальный объект выбирает тот путь, который ведет к максимальной неупорядоченности системы, то есть к ее деградации. Природа не оставляет нам надежды на окончательную победу в борьбе с увеличением энтропии и, следовательно, в борьбе с коррозией. Однако понимание основных принципов этого явления, механизма действия ингибиторов коррозии дает нам, по крайней мере, указания на то, как контролировать коррозию, уменьшать ее скорость. Таким образом, изучение процессов коррозии и антикоррозионной защиты всегда было и будет оставаться актуальной задачей.

В данном сообщении представлены некоторые результаты исследования процессов ингибиторной защиты стали марки Сталь 3, наиболее широко применяемой в Республике Беларусь для промышленного изготовления емкостей для хранения и транспортировки карбамидно-аммиачных смесей (КАС). КАС являются жидкими азотсодержащими водно-растворимыми удобрениями, что определяет выбор способов антикоррозионной ингибиторной защиты стальных емкостей – целесообразно использовать ингибиторы коррозии, также растворимые в воде. Кроме того, при выборе ингибиторов необходимым требованием является необходимость их экологической безопасности.

Подготовка образцов углеродистой стали и рабочих растворов КАС включала все требуемые операции согласно ГОСТ 9.402–2004. Состав КАС по компонентам составлял (в %): аммонийная селитра – 40,1; карбамид – 30,0; вода – 29,9. Ингибиторы коррозии вводились в рабочие растворы КАС перед проведением коррозионных испытаний. Ниже показаны результаты исследований антикоррозионной защиты двумя ингибиторами – 30 %-ным раствором ортофосфата натрия и

30 %-ным раствором триэтаноламина.

Исследования проводили на потенциостате/гальваностате Autolab PGNST 302N через 24 часа после погружения образца в исследуемый раствор в стандартной трехэлектродной ячейке с хлорсеребряным электродом сравнения. Поляризационные кривые снимались в диапазоне потенциалов от -300 мВ до $+300$ мВ относительно стационарного потенциала, скорость развертки потенциала составляла 5 мВ/с.

Для исследования механизмов электродных реакций, протекающих при электрохимической коррозии, снимались анодные и катодные поляризационные кривые, которые обрабатывались в полулогарифмических координатах. По значениям тангенсов углов наклона линейных участков определялись угловые коэффициенты уравнения Тафеля. Электрохимическая импедансная спектроскопия (ЭИС) позволила получить количественное и качественное описание всех факторов, обуславливающих кинетику данного электрохимического процесса, не повреждая и не изменяя характеристик поверхности образца.

Скорость коррозии определяли весовым методом после экспозиции образцов в коррозионных средах при температуре $25 \pm 1^\circ\text{C}$ в термостате ТС-80М-2. Взвешивание образцов производили периодически на аналитических весах OhausRV214 с точностью до $0,0001$ г. Для изучения микроструктуры поверхности до и после исследований коррозионной стойкости углеродистой стали в среде КАС без и с добавлением ингибиторов коррозии делали микрофотографии на оптическом микроскопе AFFRI – MVDM8 при увеличениях $\times 400$. Обработка исходных данных и статистическая обработка полученных результатов, построение графиков проводилось в рабочей среде программного обеспечения Microsoft Office Excel 2016 и OriginPro 9.1.

Потенциодинамические поляризационные кривые образцов углеродистой стали в растворе КАС, а также другие экспериментальные данные, в частности, микрофотографии поверхностей образцов, полученные в отсутствие ингибиторов, показали негативное воздействие рабочих растворов КАС на поверхность стальных образцов. После выдерживания в растворе КАС на поверхности образцов наблюдалось наличие большого количества пораженных участков в виде темных пятен, количество которых существенно возрастало при увеличении времени коррозионных испытаний. Средние значения весового и глубинного показателей коррозии при времени контакта углеродистой стали с раствором КАС в течение 120 ч составило соответственно $0,0203$ г/(м²·ч) и $0,0225$ мм/год.

При исследовании коррозионной стойкости углеродистой стали в растворе КАС в присутствии ингибитора – ортофосфата натрия установлено, что введение в раствор КАС ингибитора приводит к снижению плотности тока коррозии стали до $i_{корр} = 1,08 \cdot 10^{-6} \text{ А/см}^2$, при этом потенциал коррозии $E_{корр}$ смещается в электроположительную область и составляет 0,045 В. Защитный эффект ортофосфата натрия в этом растворе составляет 99,25 %.

На рисунке 1 представлены поляризационные кривые углеродистой стали в растворе КАС, содержащем в качестве ингибитора коррозии ортофосфат натрия.

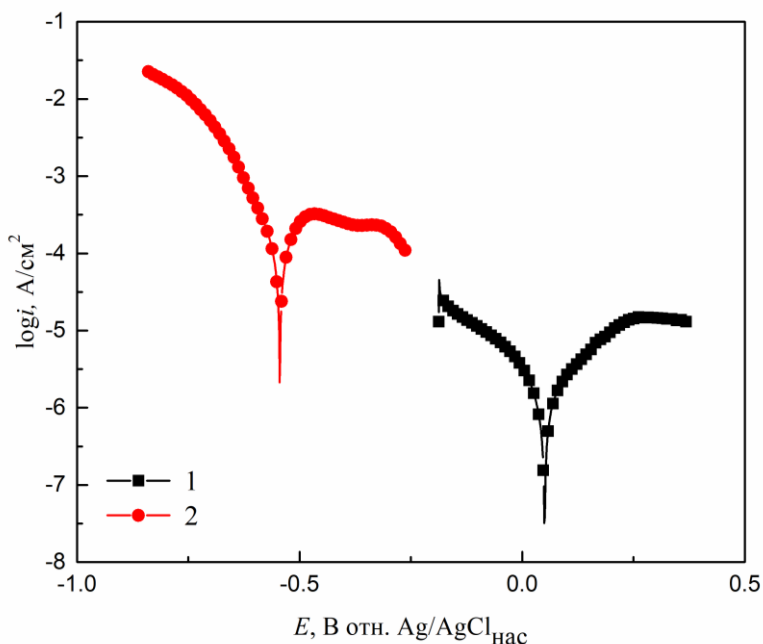


Рисунок 1 – Потенциодинамические поляризационные кривые образцов углеродистой стали в растворах КАС, содержащих ортофосфат натрия. 1 – в присутствии ингибитора; 2 – в отсутствии ингибитора

Данные, полученные для этих образцов с применением всех вышеупомянутых экспериментальных методов, позволили сделать следующие выводы: при времени экспозиции образца углеродистой стали в течение 120 ч средние значения весового и глубинного показателей коррозии составляют соответственно 0,0150 г/(м²·ч) и 0,017 мм/год. Среднее значение показателя защитного эффекта ингибитора составило 47 %, что соответствует уменьшению скорости коррозии стали в 2,52 раза. Балл коррозионной стойкости стали при этом равен 4. Это означает, что сталь в присутствии ингибитора – ортофосфата натрия можно отнести к группе стойких.

Микрофотографии поверхности образцов стали после коррозионных испытаний в течение 4, 24 и 72 часов показали, что даже после 72 часов экспозиции образцов в растворах КАС структура поверхно-

сти образцов практически не изменяется, и существенных дефектов, вызванных коррозионными поражениями, на ней не обнаружено.

Поляризационные кривые углеродистой стали в исследуемой среде в присутствии ингибитора коррозии триэтаноламина представлены на рисунке 2.

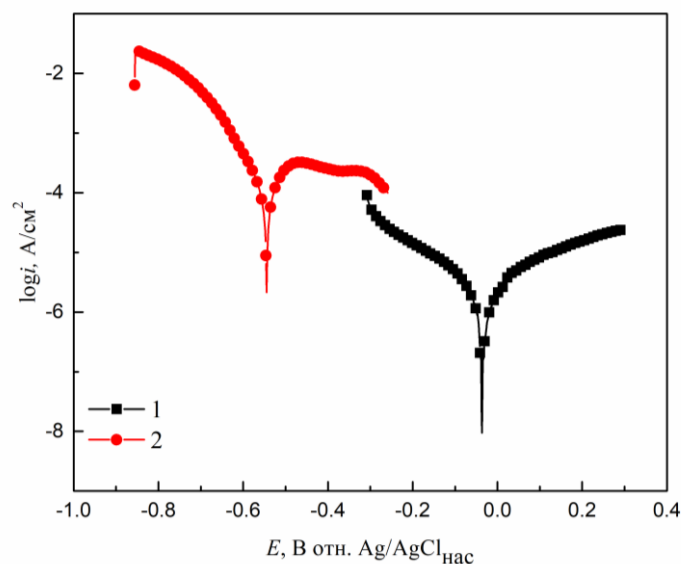


Рисунок 2 – Потенциодинамические поляризационные кривые образцов углеродистой стали в растворах КАС, содержащих триэтаноламин. 1 – в присутствии ингибитора; 2 – в отсутствии ингибитора

Установлено, что введение в систему триэтаноламина приводит к снижению плотности тока коррозии до $i_{\text{корр}} = 1,21 \cdot 10^{-6} \text{ А}/\text{см}^2$, потенциал коррозии $E_{\text{корр}}$ смещается в электроположительную область и составляет $-0,027 \text{ В}$. Защитный эффект составляет 99,15 %. Средний весовой показатель коррозии при увеличении времени контакта с коррозионной средой от 4 до 120 ч снижается от 0,0406 до 0,0021 $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Согласно поляризационным исследованиям углеродистой стали в растворах КАС, ортофосфат натрия и триэтаноламин характеризуются высоким защитным эффектом (более 99 %). Высокие защитные свойства этих типов ингибиторов можно объяснить тем, что в результате взаимодействия фосфат-ионов и триэтаноламина с продуктами коррозии на поверхности стали образуются малорастворимые и комплексные соединения, которые со временем уплотняются, изолируя поверхность от воздействия КАС и существенно повышая коррозионную устойчивость углеродистой стали.

А.А. Касач, ассист.; В.М. Кононович, науч. сотр.;
Е.О. Богдан, доц., канд. техн. наук;
И.И. Курило, доц., канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск)

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ КОНВЕРСИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ХИТОЗАН – g-C₃N₄ НА СПЛАВЕ МАГНИЯ AZ91

В современной костной имплантологии и сердечно-сосудистой хирургии достаточно широко применяются биоразлагаемые имплантаты, которые способны постепенно деградировать и замещаться тканями организма. Такой подход в хирургии помогает минимизировать вызванное имплантатом воспаление окружающей ткани и исключает необходимость повторного хирургического вмешательства по их удалению.

Наиболее перспективными биоразлагаемыми материалами для изготовления имплантатов являются магниевые сплавы ввиду их высокой биосовместимости, достаточно высокой механической прочности и приемлемой скорости биодеградации [1–2]. Также следует отметить, что значения плотности и упругости магниевых сплавов близки по характеристикам к кортикальной кости человека. Характеризуясь биобезопасностью и хорошим профилем биосовместимости, магний также является одним из важнейших микроэлементов в организме человека, участвующим в различных ферментативных реакциях и играющим важную роль в энергетическом обмене.

При получении имплантатов с требуемыми характеристиками по коррозионной устойчивости и биосовместимости, а также антибактериальными свойствами перспективным является использование различных биополимеров в качестве функциональных покрытий сплавов магния [1–2].

В связи с этим целью настоящей работы являлся синтез композиционных конверсионных покрытий хитозан–g-C₃N₄ на сплаве магния AZ91 и исследование их структуры, фазового состава, бактерицидных свойств, а также изучение *in vitro* коррозионной устойчивости полученных покрытий в натрий-фосфатном буфере.

Покрытия хитозан–g-C₃N₄ получали методом погружения образцов сплава магния AZ91 в предварительно приготовленную водную суспензию хитозана, содержащую наночастицы g-C₃N₄ в количестве 0, 10, 20, 30, 40 и 50 г/дм³.

Для приготовления суспензии использовали порошок хитозана (NANOSHEL) с молекулярной массой (50–190 кДа). Для синтеза на-

ночастиц $g\text{-C}_3\text{N}_4$ методом пиролиза в качестве прекурсора применяли карбамид (марки «ч.д.а»).

Сушка образцов сплава AZ91 с нанесенными покрытиями осуществлялась в течение 2 ч при комнатной температуре, а затем – 1–2 ч в сушильном шкафу при температуре 50°C.

Далее по тексту образцы сплавов с полученными покрытиями обозначены как chit, $10\text{C}_3\text{N}_4$, $20\text{C}_3\text{N}_4$, $30\text{C}_3\text{N}_4$, $40\text{C}_3\text{N}_4$ и $50\text{C}_3\text{N}_4$ в зависимости от содержания наночастиц нитрида углерода в приготовленных суспензиях.

Изучение структуры поверхности полученных образцов проводилось с помощью электронного микроскопа JSM-5610 LV (Jeol Ltd.), оснащенного модулем химического рентгеноспектрального анализа JED-2201 (Jeol Ltd.). Установлено, что поверхность сплава AZ91 обладает мелкозернистой структурой с равномерно распределенными частицами интерметаллидов $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$. Покрытие образца сплава с нанесенным конверсионным покрытием на основе хитозана представляет собой однородную пленку с незначительным количеством дефектов в виде глобул, размер которых варьируется от 30 до 50 мкм. Покрытия $10\text{C}_3\text{N}_4$ включают единичные агрегаты размером 10–50 мкм. По мере увеличения в составе покрытий содержания частиц $g\text{-C}_3\text{N}_4$ наблюдается повышение количества образующихся агрегатов. Поверхность покрытий $40\text{C}_3\text{N}_4$ и $50\text{C}_3\text{N}_4$ характеризуется пористой структурой и высокой удельной поверхностью.

Изучение фазового состава полученных образцов с помощью рентгеновского дифрактометра Discover D8 (Bruker) позволило идентифицировать фазы $\alpha\text{-Mg}$ и интерметаллида $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{11}$. В составе покрытий $30\text{C}_3\text{N}_4$, $40\text{C}_3\text{N}_4$ и $50\text{C}_3\text{N}_4$ идентифицируется кристаллическая фаза нитрида углерода. Следует отметить, что на всех дифрактограммах отсутствуют рефлексы, характерные для фазы хитозана, что может свидетельствовать о его рентгеноаморфности.

Известно, что смачивание поверхности является важной характеристикой имплантационных материалов, так как влияет на адгезию и рост клеток организма. Исследование гидрофильных свойств полученных покрытий позволило установить, что краевой угол смачивания покрытия, полученного на основе чистого хитозана, водой составляет 82°. Модификация хитозана частицами $g\text{-C}_3\text{N}_4$ приводит к гидрофилизации его поверхности, при этом краевой угол смачивания покрытий $10\text{C}_3\text{N}_4$ и $20\text{C}_3\text{N}_4$ водой составляет 58° и 43° соответственно. На покрытиях, характеризующихся более высоким содержанием наночастиц $g\text{-C}_3\text{N}_4$, наблюдается полное смачивание.

Защитные свойства полученных покрытий оценивались с помощью методов линейной вольтамперометрии и электрохимической им-

педансной спектроскопии.

Установлено, что потенциал коррозии сплава AZ91 в натрий-фосфатном буфере (НФБ) составляет $-1,45$ В. Потенциал коррозии образцов с нанесенными покрытиями на основе хитозана смещен на $10-70$ мВ в более электроотрицательную область по сравнению с образцом сплава AZ91. Плотность тока коррозии сплава магния AZ91 в исследуемой среде составляет $1,93 \cdot 10^{-5}$ А/см². Покрытие chit способствует снижению скорости коррозии в 2,64 раза. Модификация хитозана наночастицами g-C₃N₄ приводит к увеличению защитных свойств формируемых покрытий на 20–35 %. Увеличение концентрации частиц g-C₃N₄ свыше 30 г/дм³ в суспензии хитозана, используемой для получения покрытия, не приводит к дальнейшему повышению защитных свойств формируемых покрытий.

Анализ спектров импеданса в виде диаграмм Найквиста исследуемых образцов в растворе НФБ позволили установить, что покрытия на основе хитозана уплотняют коррозионный слой, образующийся на границе раздела фаз подложка | покрытие.

Таким образом, по результатам проведенных исследований разработана методика получения композиционных конверсионных покрытий хитозан-g-C₃N₄ на сплаве магния AZ91. Установлено, что конверсионное хитозановое покрытие снижает скорость коррозии сплава AZ91 в натрий-фосфатном буфере в 2,64 раза. Модификация хитозановой матрицы наночастицами g-C₃N₄ способствует гидрофилизации поверхности, а также увеличению ее защитной способности на 20–35 %. Установлено, что полученные композиционные конверсионные покрытия обладают ярко выраженным бактериостатическим действием по отношению к штамму бактерий *E. coli*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Control of the Mg alloy biodegradation via PEO and polymer-containing coatings / A. S. Gnedkov [et al.] // Corros. Sci. – 2021. – Vol. 182, № December 2020. – P. 109254.

2. Improving biocompatibility and corrosion resistance of anodized AZ31 Mg alloy by electrospun chitosan/mineralized bone allograft (MBA) nanocoatings / M. Rahimi [et al.] // Surf. Coatings Technol. – 2021. – Vol. 405, № August 2020. – P. 126627.

Е.А. Чижова, доц., канд. хим. наук;
С.В. Шевченко, доц., канд. хим. наук; Я.Ю. Журавлева, магистрант;
А.И. Клындюк, доц., канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск)

СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{Nd}(\text{Ba}, \text{Mg})(\text{Fe}, \text{Co}, \text{Cu})_2\text{O}_{5+\delta}$

Сложные оксиды $\text{LnBaMe}'\text{Me}''\text{O}_{5+\delta}$ ($\text{Ln} - \text{Y}$, редкоземельный элемент (РЗЭ), Me' , $\text{Me}'' - 3d$ -металл) могут быть использованы в качестве электродов твердооксидных топливных элементов, полупроводниковых химических сенсоров газов, катализаторов окисления углеводородов [1–3], причем их функциональные характеристики можно улучшать путем варьирования их катионного состава. Ранее нами было изучено влияние частичного замещения бария стронцием на структуру и физико-химические свойства двойного перовскита $\text{NdBaFeCo}_{0,5}\text{Cu}_{0,5}\text{O}_{5+\delta}$ [4].

В данной работе исследовано влияние частичного замещения бария магнием в $\text{NdBaFeCo}_{0,5}\text{Cu}_{0,5}\text{O}_{5+\delta}$ на кристаллическую структуру и электро-транспортные свойства твердых растворов $\text{NdBa}_{1-x}\text{Mg}_x\text{FeCo}_{0,5}\text{Cu}_{0,5}\text{O}_{5+\delta}$ ($x = 0; 0,05; 0,10; 0,20; 0,40$).

Образцы получали методом твердофазных реакций из Nd_2O_3 (НО-Л), BaCO_3 (ч.), MgCO_3 (ч.), Fe_2O_3 (ос.ч.), CuO (ч.д.а.), Co_3O_4 (ч.), которые в стехиометрических соотношениях смешивали в мельнице Pulverizette 6.0 фирмы Fritsch (300 об/мин, 1 ч) в среде этанола, прессовали и отжигали на воздухе в течение 40 ч при 1173 К; затем подвергали измельчению, повторному помолу и прессованию в формы параллелепипедов размером $5 \times 5 \times 30$ мм, после чего спекали на воздухе при 1273 К в течение 9 часов.

Идентификацию образцов и определение параметров их кристаллической структуры осуществляли при помощи рентгенофазового анализа (РФА) (дифрактометр Bruker D8 XRD Advance, $\text{CuK}\alpha$ -излучение) и ИК-спектроскопии поглощения (ИК-Фурье спектрометр NEXUS E.S.P.). Электропроводность и термо-ЭДС спеченной керамики исследовали на воздухе в интервале температур 300–1073 К.

По результатам рентгенофазового анализа полученные образцы были однофазными и имели характерную для слоистых перовскитов тетрагональную структуру (пр. гр. симм. $P4/mmm$). Параметры элементарной ячейки твердых растворов и степень тетрагонального искажения с ростом x несколько возрастали при частичном замещении бария магнием (табл. 1). Кажущаяся плотность образцов, определенная по их массе и геометрическим размерам, изменялась в пределах 4,43–

6,17 г/см³, уменьшаясь с ростом степени замещения бария стронцием. Относительная плотность составила 67–92 %.

Таблица 1 – Параметры кристаллической ячейки (*a*, *c*, *V*), степень тетрагонального искажения (*c/2a*), рентгенографическая ($\rho_{\text{рентг}}$) и кажущаяся ($\rho_{\text{каж}}$) плотность, пористость (Π) образцов NdBa_{1-x}Mg_xFeCo_{0,5}Cu_{0,5}O_{5+δ}

<i>x</i>	<i>a</i> , Å	<i>c</i> , Å	<i>V</i> , Å	<i>c/2a</i>	$\rho_{\text{рентг}}$, г/см ³	$\rho_{\text{каж}}$, г/см ³	Π , %
0,00	3,914	7,708	118,1	0,985	6,73	6,17	8,3
0,05	3,912	7,712	118,0	0,986	6,66	4,89	26,6
0,10	3,910	7,710	117,9	0,986	6,58	4,43	32,7
0,20	3,914	7,715	118,2	0,986	6,41	4,44	30,7
0,40	3,915	7,729	118,5	0,987	6,08	4,43	27,1

На кривых ИК-поглощения твердых растворов в диапазоне 300–800 см⁻¹ наблюдается 3 полосы поглощения с максимумами при 355–374 (ν_1), 575–582 (ν_2) и 655–662 (ν_3) см⁻¹, соответствующие валентным (ν_2) и деформационным (ν_1) колебаниям связей металл-кислород в базальных плоскостях [(Fe,Co,Cu)O₂], а также валентным колебаниям апикального кислорода М–О–М связей (ν_3) в структуре фаз NdBaM₂O_{5+δ} (М – Fe, Co, Cu). Следует отметить, что полоса поглощения ν_3 выражена слабо и носит характер сателлитной. С увеличением степени замещения бария магнием положения максимумов полос поглощения смещаются в сторону увеличения частоты, что свидетельствует об увеличении энергии связей металл – кислород в кристаллической структуре этих соединений.

Твердые растворы NdBa_{1-x}Mg_xFeCo_{0,5}Cu_{0,5}O_{5+δ} являются полупроводниками *p*-типа (коэффициент термо-ЭДС во всем исследованном интервале температур был положителен), величины электропроводности которых с ростом степени замещения бария на магний уменьшались, а коэффициента термо-ЭДС – увеличивались. Характер электропроводности (σ) NdBa_{1-x}Mg_xFeCo_{0,5}Cu_{0,5}O_{5+δ} изменялся от полупроводникового к металлическому вблизи 663–728 К (T_{max} , таблица 2), а коэффициент термо-ЭДС (S) начинал резко увеличиваться при 633–696 К (T_{min} , таблица 2), что, вероятно, обусловлено началом выделения из образцов лабильного кислорода. Величина кажущейся энергии активации проводимости (E_{σ}), рассчитанная из линейных участков зависимостей $\ln(\sigma \cdot T) = f(1/T)$, составила 0,194–0,254 эВ (таблица 2). Энергия активации носителей заряда (E_S), рассчитанная из линейных участков зависимостей $S = f(1/T)$, составила 0,042–0,060 эВ. Энергию активации миграции носителей заряда рассчитывали как $E_m = E_{\sigma} - E_S$. Как видно из приведенных в таблица 2 данных, частичное замещение бария магнием, в

целом, приводило к увеличению энергозатрат при электропереносе в изученных твердых растворах.

Таблица 2 – Значения удельной электропроводности (σ_{300} , σ_{\max}), коэффициента термо-ЭДС (S_{\min}), температур максимумов и минимумов (T_{\max} , T_{\min}) на зависимостях электротранспортных свойств, энергий активации электропереноса фаз $\text{NdBa}_{1-x}\text{Mg}_x\text{FeCo}_{0,5}\text{Cu}_{0,5}\text{O}_{5+\delta}$

x	σ_{300} , СМ/СМ	σ_{\max} , СМ/СМ	T_{\max} , К	S_{\min} , МКВ/К	T_{\min} , К	E_{σ} , эВ	E_S , эВ	E_m , эВ
0,00	1,85	75,1	728	30,7	696	0,254	0,048	0,206
0,05	3,30	67,0	704	30,9	653	0,213	0,049	0,164
0,10	2,31	47,9	663	29,9	676	0,194	0,042	0,152
0,20	1,43	23,6	686	42,7	633	0,218	0,060	0,158
0,40	0,57	18,7	708	61,5	653	0,227	0,060	0,167

Таким образом, замещение бария магнием в структуре $\text{NdBaFeCo}_{0,5}\text{Cu}_{0,5}\text{O}_{5+\delta}$ приводит к незначительному росту степени тетрагонального искажения кристаллической ячейки твердых растворов, увеличению энергии металл–кислородных связей в структуре $\text{NdBa}_{1-x}\text{Mg}_x\text{FeCo}_{0,5}\text{Cu}_{0,5}\text{O}_{5+\delta}$, уменьшению удельной электропроводности и увеличению коэффициента термо-ЭДС изученных твердых растворов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Layered Oxygen-Deficient Double Perovskites as Promising Cathode Materials for Solid Oxide Fuel Cells / A. I. Klyndyuk [et all.] // *Materials*. – 2022. – Vol. 15, N 1. – P. 141.
2. Чижова, Е.А. Газочувствительные свойства слоистых феррокупратов лантана (иттрия) – бария / Е.А. Чижова, С.В. Шевченко, А.И. Клындюк // *Тр. Белорус. гос. технол. ун-та. Сер. 2. Химические технологии, биотехнологии, геоэкология*. – 2019. – № 2. – С. 146–154.
3. Сенсорные и каталитические свойства твердых растворов на основе YBaCuFeO_5 / Е.А. Чижова [и др.] // *Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов: мат. Межд. науч.-техн. конф., 26–28 ноября 2003 г., г. Минск*. – Мн.: БГТУ. – 2003. – С. 317–319.
4. Klyndyuk, A.I. Crystal structure, thermal and electrotransport properties of $\text{NdBa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeCo}_{0,5}\text{Cu}_{0,5}\text{O}_{5+\delta}$ ($0,02 \leq x \leq 0,20$) solid solutions / A. I. Klyndyuk, Ya. Yu. Zhuravleva, N. N. Gundilovich // *Chimica Techno Acta*. – 2021. – Vol. 8, N. 3. – P. 20218301.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОИСТЫХ КОБАЛЬТИТОВ НАТРИЯ

Слоистый кобальтит натрия Na_xCoO_2 характеризуется высокими значениями фактора мощности (P) и показателя термоэлектрической добротности (ZT), что позволяет рассматривать его как возможную основу для разработки материалов для p -ветвей термоэлектрических устройств различного назначения. Физико-химические и функциональные характеристики керамики на основе кобальтита натрия могут быть улучшены путем варьирования ее катионного состава, в связи с чем изучение твердых растворов на основе Na_xCoO_2 представляет значительный интерес, в том числе для термоэлектрического материаловедения.

В данной работе получен широкий ряд производных слоистых кобальтитов натрия с различными содержанием натрия и частичным замещением кобальта переходными и тяжелыми металлами, а также изучены их кристаллическая структура и микроструктура, электро-транспортные (электропроводность (σ), термо-ЭДС (S)), теплофизические (тепловое расширение, теплопроводность (λ)) и функциональные (фактор мощности (P), $P = S^2 \cdot \sigma$, показатель термоэлектрической добротности (ZT , $ZT = (P \cdot T) / \lambda$) свойства в интервале 300–1100 К.

После завершения синтеза кобальтиты Na_xCoO_2 и твердых растворов на их основе были, в пределах погрешности РФА, однофазными, и имели гексагональную структуру, соответствующую структуре $\gamma\text{-Na}_x\text{CoO}_2$ с параметрами элементарной ячейки $a = 0,2813\text{--}0,2852$ нм, $c = 1,089\text{--}1,116$ нм, что находится в хорошем согласии с литературными данными. Кажущаяся плотность спеченной керамики изменялась в пределах $2,81\text{--}3,65$ г/см³ и, за исключением твердых растворов $\text{Na}_{0,89}\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$ ($M = \text{Ti}, \text{Cr}, \text{Ni}, \text{Cu}$), уменьшалась при частичном замещении кобальта другими металлами. Кристаллиты фаз $\text{Na}_x\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$ имели форму пластин шириной 5–50 мкм и толщиной 0,5–10 мкм, которые широкой стороной были ориентированы преимущественно перпендикулярно оси прессования, что указывает на частичное текстурирование полученной нами керамики.

Значения коэффициента линейного теплового расширения (КЛТР) кобальтитов $\text{Na}_x\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$ изменялись в пределах $(12,5\text{--}20,5) \cdot 10^{-6}$ К⁻¹ и для твердых растворов, в целом, были выше, чем для незамещенных кобальтитов натрия Na_xCoO_2 , при этом наибольшими значениями КЛТР характеризовались твердые растворы $\text{Na}_x\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$ ($M = \text{Ti}, \text{Fe}$).

Проводимость кобальтитов Na_xCoO_2 и твердых растворов на их основе носила металлический (для фаз $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{Ti}_{0,1}\text{O}_2$, $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{Ni}_{0,1}\text{O}_2$ – полупроводниковый) характер, который для фаз $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$ в области температур 800–1000 К изменялся на полупроводниковый. Величина σ керамики уменьшалась при увеличении степени окисления замещающего кобальт металла, что объясняется уменьшением концентрации основных носителей заряда («дырок») с ростом степени окисления катионов в проводящих $-(\text{Co},\text{M})\text{O}_2$ -слоях кристаллической структуры фаз твердых растворов $\text{Na}_x\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$.

Термо-ЭДС твердых растворов $\text{Na}_x\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$ возрастала с ростом температуры и, в основном, увеличивалась с ростом степени окисления замещающего кобальт металла, что характерно для обычных проводников, для которых увеличение концентрации основных носителей приводит к уменьшению термо-ЭДС. Высокие значения термо-ЭДС твердых растворов $\text{Na}_x\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{CoO}_2$ ($M = \text{Ni}, \text{Cu}, \text{Zn}$) обусловлены, вероятно, изменением спинового состояния входящих в их состав катионов кобальта при частичном их замещении катионами других $3d$ -металлов.

Значения фактора мощности керамики $\text{Na}_x\text{Co}_{0,9}\text{M}_{0,1}\text{O}_2$ возрастали при увеличении температуры и немонотонно изменялись при изменении природы замещающего кобальт металла, достигая наибольших значений для $\text{Na}_{0,89}\text{CoO}_2$, $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,90}\text{Cr}_{0,10}\text{O}_2$, $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,90}\text{V}_{0,10}\text{O}_2$ при температуре 1100 К – 829, 917 и 1018 $\mu\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K}^2)$ соответственно.

Оценочные значения величины безразмерного показателя термоэлектрической добротности ($ZT_{1100} = (P_{1100} \cdot 1100) / \lambda_{423}$, учитывая слабую зависимость теплопроводности керамики, полученной в данной работе, от температуры) при 1100 К кобальтитов $\text{Na}_{0,89}\text{Co}_{0,90}\text{V}_{0,10}\text{O}_2$, $\text{Na}_{0,89}\text{Co}_{0,90}\text{Ni}_{0,10}\text{O}_2$ и $\text{Na}_{0,55}\text{Co}_{0,90}\text{Sc}_{0,10}\text{O}_2$ составляют 0,83, 1,12 и 1,45 соответственно, что в 2, 1,5 и 6,9 раза больше, чем для $\text{Na}_{0,55}\text{CoO}_2$ ($ZT_{1100} = 0,21$) и $\text{Na}_{0,89}\text{CoO}_2$ ($ZT_{1100} = 0,56$). Все это позволяет рассматривать производные слоистого кобальтита натрия Na_xCoO_2 как перспективные материалы для высокотемпературной термоэлектронной конверсии.

УДК 544.332.031 + 546.65

О.Г. Полячёнок проф., д-р хим. наук (МГУП, г. Могилев);
Г.П. Дудчик, доц., канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ЭНТАЛЬПИИ РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ С УЧАСТИЕМ
ПАРООБРАЗНЫХ ТРИХЛОРИДОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ КАК ИЛЛЮСТРАЦИЯ ЗАВИСИМОСТИ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭТИХ
СОЕДИНЕНИЙ ОТ СТРОЕНИЯ АТОМОВ РЗЭ**

Настоящее сообщение является результатом исследований, проведенных в рамках научной школы БГТУ в области высокотемпературной химии парообразного состояния и водородной энергетики. Основоположником этой школы является доктор химических наук, профессор Г. И. Новиков, много лет заведовавший кафедрой общей и неорганической химии нашего университета. В настоящее время руководителем соответствующих научных направлений, определяющих цели и задачи данной научной школы, является профессор И. М. Жарский. Основатель научной школы профессор Г. И. Новиков всегда подчеркивал важную роль Периодического закона Д. И. Менделеева при изучении химии парообразного состояния. Под его руководством были установлены количественные и коррелятивные связи между самыми различными свойствами веществ и найдены фундаментальные закономерности, определяющие, в частности, зависимости термодинамических характеристик соединений от положения соответствующих элементов в Периодической системе. Среди множества химических соединений и разнообразных процессов, протекающих при высоких (до 1000–1300°C) температурах в паровой фазе, объектами термодинамического исследования в разное время были галогениды редкоземельных элементов (РЗЭ), которые вместе с лантаном представляют особый интерес в качестве модельной системы из 15 элементов для оценки свойств аналогичного семейства соединений актиноидов, экспериментальному изучению которого препятствовала их радиоактивность. Изучение термодинамики соединений РЗЭ имело целью установить закономерности изменения их свойств по всему семейству и получить на этой основе возможность разработать надежные корреляционные способы определения характеристик соединений актиноидов, используемых в атомной энергетике.

Экспериментальными методами исследования высокотемпературных процессов с участием трихлоридов РЗЭ (или трихлоридов лантаноидов LnCl_3) являлись тензиметрические методы, основанные

на измерении давления: статический метод, метод точек кипения, эффузионный метод [1]. Основным условием прецизионности измерений для большинства галогенидов является чистота исходных веществ и тщательная подготовка эксперимента. Во многих случаях использовался разработанный Г. И. Новиковым и О. Г. Полячёнком высокоточный и надежный метод синтеза и исследования галогенидов заданного состава из элементов высокой чистоты непосредственно в измерительном приборе в условиях вакуума.

Как известно, многие свойства трихлоридов РЗЭ очень близки по своей величине, поскольку при переходе от лантана и первого элемента в ряду лантаноидов – церия к последнему элементу – лютецию, внешняя электронная оболочка почти всех атомов не изменяется. Другими словами, структура внутренней 4f-оболочки слабо влияет на свойства РЗЭ. Заполнение 4f-оболочки происходит в следующем порядке: **La** $4f^05d^16s^2$; **Ce** $4f^15d^16s^2$; **Pr** $4f^35d^06s^2$; **Nd** $4f^45d^06s^2$; **Pm** $4f^55d^06s^2$; **Sm** $4f^65d^06s^2$; **Eu** $4f^75d^06s^2$; **Gd** $4f^75d^16s^2$; **Tb** $4f^85d^16s^2$; **Dy** $4f^{10}5d^06s^2$; **Ho** $4f^{11}5d^06s^2$; **Er** $4f^{12}5d^06s^2$; **Tm** $4f^{13}5d^06s^2$; **Yb** $4f^{14}5d^06s^2$; **Lu** $4f^{14}5d^16s^2$.

На рисунке *a*) показаны результаты тензиметрического определения энтальпий сублимации, выполненные нами по данным о давлении насыщенного пара над твердыми LnCl_3 (энтальпии сублимации для радиоактивного PmCl_3 и разлагающихся с отщеплением хлора, неустойчивых EuCl_3 и YbCl_3 получены путем корреляционных методов оценки опытных данных по всему ряду РЗЭ) [2]. Как видно из рисунка *a*), значения стандартных энтальпий сублимации монотонно убывают от La к Lu с увеличением порядкового номера элемента, или по мере уменьшения ионного радиуса атомов РЗЭ от 12,2 нм у La до 9,9 нм у Lu.

Представление о том, что все энергетические характеристики галогенидов РЗЭ образуют монотонный ряд изменений по всему семейству РЗЭ, считалось очевидным до 70-ых годов прошлого столетия, когда были опубликованы результаты систематического экспериментального исследования энтальпий образования кристаллических трихлоридов РЗЭ. Было установлено, что значения $\Delta H_{f, 298}^{\circ}$ твердых LnCl_3 из простых веществ закономерно и в целом монотонно уменьшаются в соответствии с уменьшением размеров атомов РЗЭ. Однако полученные данные для EuCl_3 и YbCl_3 авторами соответствующих работ не были опубликованы, возможно, потому, что полученные значения очень сильно отличались от ожидаемых в предположении монотонного изменения $\Delta H_{f, 298}^{\circ}$ кристаллических LnCl_3 по ряду РЗЭ. Объяснение этому явлению предложено Гшнейднером [3] на основе анализа особенностей структуры электронных оболочек атомов РЗЭ.

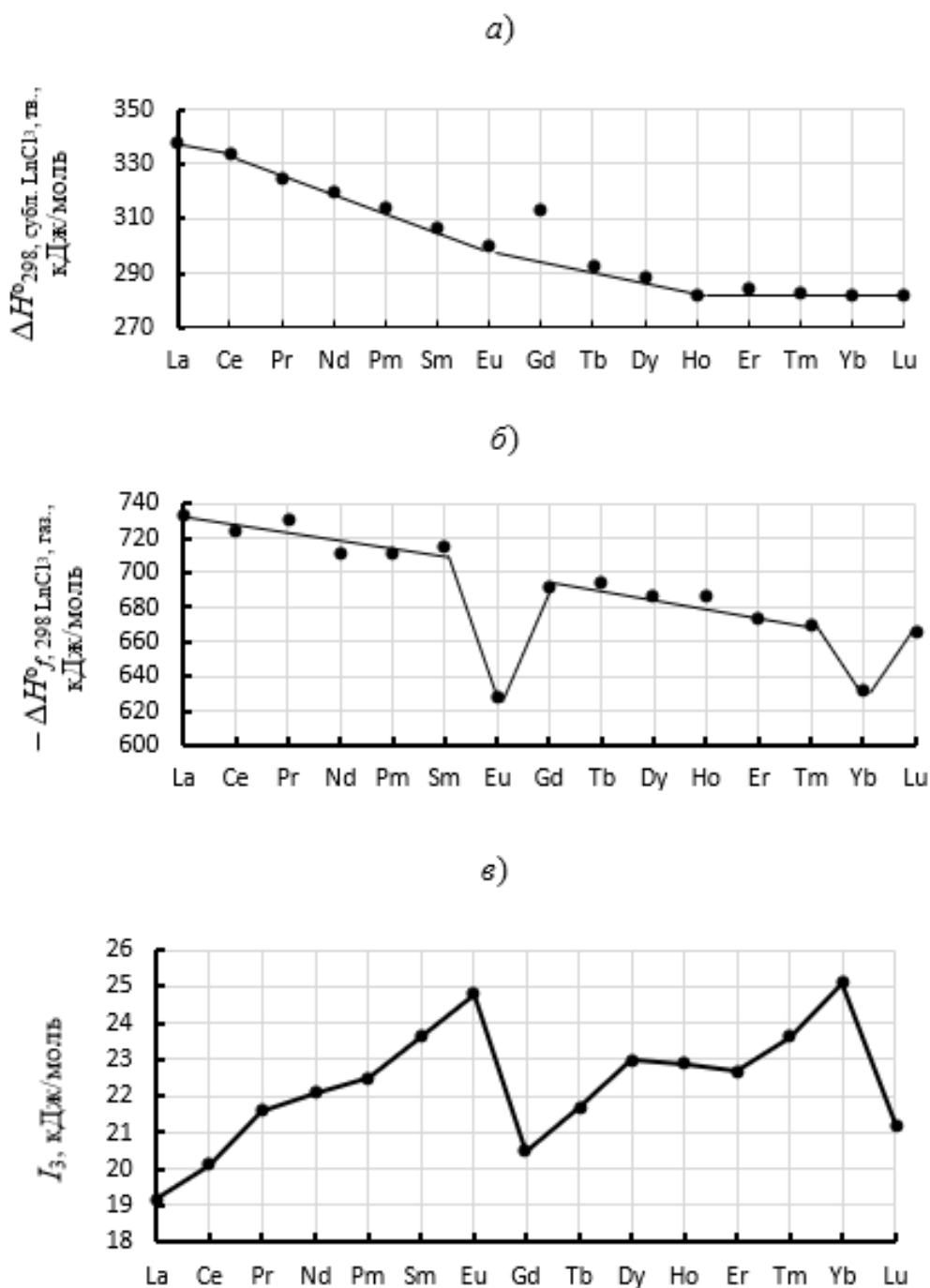


Рисунок – Термодинамические характеристики трихлоридов РЗЭ в зависимости от порядкового номера элемента: а) – стандартная энтальпия сублимации LnCl₃, б) – стандартная энтальпия образования паров LnCl₃ из простых веществ, в) – третий потенциал ионизации для молекул

Eu и Yb характеризуются полным заполнением всех 7 квантовых ячеек 4f-уровня единичными электронами (Eu) или их парами (Yb). Заполненные таким образом 4f-уровни обладают повышенной устойчивостью, и переход третьего электрона в валентное состояние

затруднено. Именно поэтому Eu и Yb похожи по свойствам на щелочноземельные металлы и являются двухвалентными металлами в отличие от других лантаноидов: $\text{Ln}^{3+} + 3e$, но $\text{Ln}^{2+} + 2e$ (Eu и Yb). Таким образом, при образовании кристаллических трихлоридов Eu и Yb из простых веществ должна затрачиваться дополнительная энергия для перевода одного 4f-электрона на валентный 5d-уровень.

С использованием измеренных нами энтальпий сублимации трихлоридов РЗЭ, представленных на рисунке *а*), впервые были определены стандартные энтальпии образования парообразных трихлоридов по всему ряду РЗЭ. Зависимость величины $\Delta H_{f, 298}^{\circ} \text{LnCl}_3$ газ. от порядкового номера РЗЭ представлена на рисунке *б*). Как видно из рисунка *б*), в целом наблюдается монотонное уменьшение $\Delta H_{f, 298}^{\circ} \text{LnCl}_3$ газ. с минимумами для трихлоридов Eu и Yb. На рисунке *в*) приведено изменение третьего потенциала ионизации I_3 в ряду атомов РЗЭ, которое показывает периодическую зависимость энергии связи третьего электрона (4f-оболочка электронов) по подгруппе церия и по подгруппе гадолиния и аномально высокие значения I_3 у Eu и Yb. Рисунок *в*) объясняет, почему значения энтальпии процессов с участием EuCl_3 и YbCl_3 , требующих изменения валентного состояния РЗЭ, демонстрируют аномальные отклонения от общей монотонной зависимости свойств от порядкового номера редкоземельного элемента.

В заключение отметим, что представленная нами информация является интересной и весьма убедительной иллюстрацией фундаментальной взаимосвязи природы вещества и Периодического закона Д. И. Менделеева. Глубина и одновременно наглядность обсуждаемых здесь вопросов поможет обеспечить успешное усвоение студентами соответствующих базовых химических закономерностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поляченко О. Г. Некоторые вопросы энергетики и устойчивости парообразных галогенидов: дис.... д-ра. хим. наук: 02.070. Ленинград, 1972. – 502 с.

2. Дудчик Г. П. Термодинамическое исследование хлоридов и оксихлоридов редкоземельных элементов: дис.... канд. хим. наук: 02.073. Минск, 1970. – 22 с.

3. Gschneidner K. A. On the valences of europium and ytterbium in compounds. J. Less Common Metals. 1969. –V. 17 (1). – PP. 13–24.

UDC 536.21+537.31+54.31+546.73+666.654

A.A. Glinskaya, PhD (Chemistry), senior lecturer (BSTU, Minsk),
G.S. Petrov, PhD (Chemistry), assistant professor (BSTU, Minsk);
V.I. Romanovski, PhD, senior researcher (IGIC NAS of Belarus)

CRYSTAL STRUCTURE, MAGNETIC AND PHOTOCATALYTIC PROPERTIES OF SOLID SOLUTIONS

$\text{Bi}_{2-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$ ($x = 0; 0,05; 0,1$)

The $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ bismuth ferrite is an important functional material that can be used as a semiconductor gas sensor and a catalyst for ammonia oxidation to NO in the commercial-scale production of nitric acid, capable of replacing expensive and deficient catalysts [1–2]. In recent years, evidence has emerged that $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ possesses multiferroic properties; that is, the magnetic properties of this material can be controlled by an electric field and, vice versa, its electrical polarization can be modulated by a magnetic field. This suggests that $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ and related solid solutions are potentially attractive materials for creating fundamentally new devices in the field of information and energy-saving technologies, magnetic memory and spintronic devices, magnetic field sensors, etc.

The bulk samples were prepared by ceramic method from corresponding oxides of high purity. The photocatalytic activity of the $\text{Bi}_{1,9}\text{La}_{0,1}\text{Fe}_4\text{O}_9$ powder was studied by the degradation of the Acid Telson Blue dye (ATB) in an aqueous solution, under continuous stirring and exposure in the ultraviolet (UV) radiation. 100 ml of aqueous solution (in deionized water) was prepared by completely dissolving 1,0 mg of ATB dye and then dispersing 0,010; 0,020; 0,030 or 0,040 g/l of $\text{Bi}_{1,9}\text{La}_{0,1}\text{Fe}_4\text{O}_9$ powder. The resulting suspension was equilibrated by stirring in the dark for 1 h to stabilize the adsorption of the ATB dye over the surface of the $\text{Bi}_{1,9}\text{La}_{0,1}\text{Fe}_4\text{O}_9$ powders. The stable aqueous suspensions under the continuous magnetic stirring were irradiated with the UV light using the DRT-240 lamp (with radiant stream 24,6 W) as the UV source, which emitted the UV radiation with the wavelength within the range of 240–320 nm. Following the UV radiation exposure, 5 ml of aqueous suspension was taken out of the UV chamber for each 15 min time interval for a total of 90 min of UV radiation exposure for obtaining the dye degradation efficiency.

The results of X-ray diffraction analysis made it possible to establish that the substitution of up to 10 mol.% of Bi^{3+} ions by La^{3+} ions in $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ ferrite led to the formation of a continuous series of solid solutions. This is evidenced by a gradual decrease in parameter a and an increase in the angle α of the crystal lattice of rhombohedrally distorted perovskite. It should be noted that the studied samples contained an insignificant amount of impurity phase of ferrite BiFeO_3 (fig. 1).

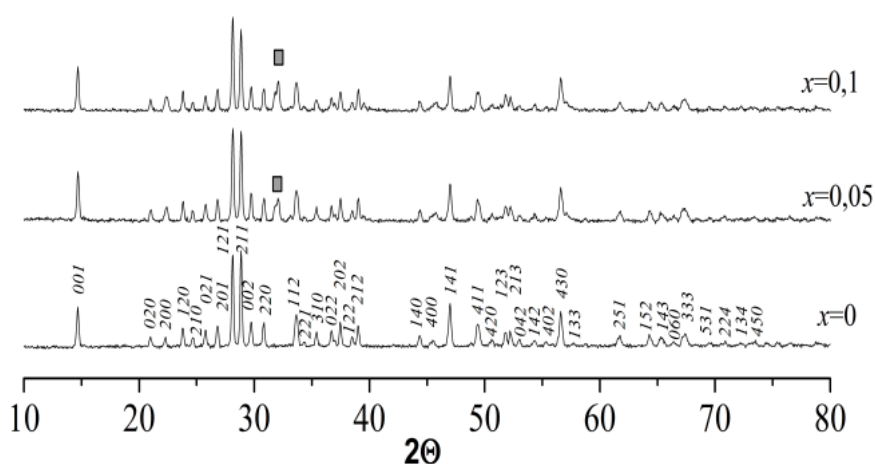


Figure 1 – XRD pattern diffracted of samples $\text{Bi}_{2-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$ at different values of x : 0 (1); 0,05 (2); 0,1 (3)

The temperature of the maximum in specific magnetization curves, obtained in the ranges 5–300 and 77–950 K, is 258 K, which corresponds to the Neel temperature, at which $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ undergoes an antiferromagnetic-to-paramagnetic phase transition. In addition, the specific magnetization (σ_s) of the solid solutions gradually increases with increasing x (fig. 2). The increase in specific magnetization upon substitution of La^{3+} , which have a smaller ionic radius than bismuth ions, for Bi^{3+} in $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ is probably due to distortion of the crystal structure of the solid solutions and changes in $\text{Fe}^{3+} - \text{O}^{2-} - \text{Fe}^{3+}$ indirect exchange interactions.

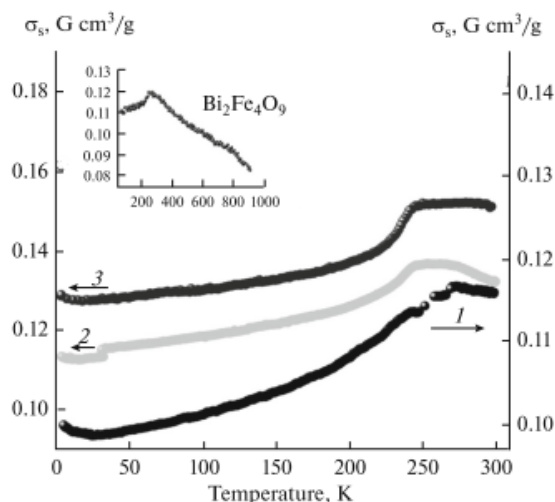


Figure 2 – Temperature dependences of specific magnetization (σ_s) for the $\text{Bi}_{2-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$ samples in 5–300 K: $x =$ (1) 0; (2) 0,05; (3) 0,1

We described the kinetics of the ATB decomposition reaction by the formal pseudo-first-order model as expressed in literature [3]: $\ln(C_0/C) = k \cdot t$, where t – irradiation time, k – reaction rate constant, C_0 – initial concentration, and C – current concentration of the ATB dye for the

t . The plots of $\ln(C_0/C)$ versus t are approximately straight lines for the various doses showing the apparent first-order rate constants (fig. 3b).

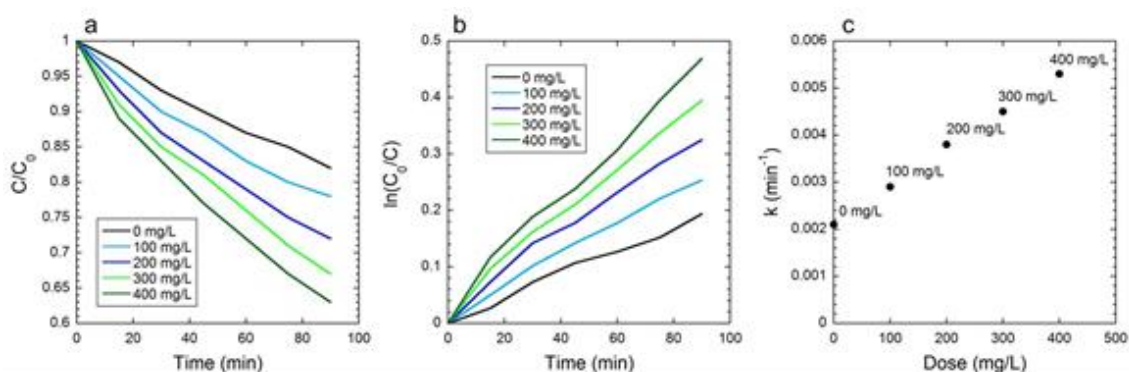


Figure 3 – Residual ATB dye concentration as a function of UV radiation exposure time (a), typical plots for determining the k (b) and the k (c) obtained for the different content of $\text{Bi}_{1,9}\text{La}_{0,1}\text{Fe}_4\text{O}_9$

The k increases with increasing content of $\text{Bi}_{1,9}\text{La}_{0,1}\text{Fe}_4\text{O}_9$. The reaction rate constant k were 0,0053; 0,0045; 0,0038 and 0,0029 min^{-1} for the 400, 300, 200 and 100 mg/l respectively (fig. 5c). The reaction rate constant k without $\text{Bi}_{1,9}\text{La}_{0,1}\text{Fe}_4\text{O}_9$ was 0,0021 min^{-1} .

Thus, the ATB solution without $\text{Bi}_{1,9}\text{La}_{0,1}\text{Fe}_4\text{O}_9$ show small changes under UV-light irradiation (up to 17,6 % efficiency after 90 min). The presence of 100–400 mg/l of $\text{Bi}_{1,9}\text{La}_{0,1}\text{Fe}_4\text{O}_9$ shows the best activity (about 37,4 %).

LITERATURE

1. Ruan Q.-J. Tunable Morphology of $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ Crystals for Photocatalytic Oxidation / Q.-J. Ruan, W.-D. Zhang / J. Phys. Chem. – 2009. – Vol. 113. – P. 4168–4173.
2. Size-Dependent Magnetic, Photoabsorbing, and Photocatalytic Properties of Single-Crystalline $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ Semiconductor Nanocrystals / Q. Zhang [et al.] / J. Phys. Chem. C. – 2011. – Vol. 115. – P. 25241–25246.
3. Photocatalytic Activity of Sol–Gel-Derived Nanocrystalline Titania / Baiju K. V., Shukla S., Sandhya K. S. et al. / J. Phys. Chem. C. –2007. – Vol. 111. – P. 7612–7622.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ИНДАТА ЛАНТАНА, ЛЕГИРОВАННОГО ИОНАМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В настоящее время магнитные и фотолюминесцентные свойства твердых растворов на основе индата лантана типа $\text{La}_{1-x}\text{Ln}_x\text{InO}_3$ (где $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Sm}, \text{Eu}$) с невысокой степенью замещения ионов лантана ионами соответствующих ионов редкоземельных элементов ($x = 0,001-0,1$) интенсивно исследуются вследствие наличия у них интересных люминесцентных и магнитных свойств [1–5]. Однако низкотемпературные свойства указанных твердых растворов исследованы недостаточно.

Твердые растворы на основе индата лантана, легированного ионами редкоземельных (Pr^{3+} , Eu^{3+} , Sm^{3+}) и переходных элементов (Sb^{3+}) получали твердофазным методом из оксидов лантана (La_2O_3), индия (In_2O_3), празеодима (Pr_6O_{11}), европия (Eu_2O_3), самария (Sm_2O_3), и сурьмы (Sb_2O_3). Все реактивы имели квалификацию не ниже «х. ч.».

Порошки оксидов, взятых в заданных молярных соотношениях, смешивали и мололи в планетарной мельнице. Полученную шихту прессовали, а затем обжигали при 1523 К на воздухе в течение 6 ч. После предварительного обжига образцы дробили, перемалывали, прессовали и обжигали 6 ч. при температуре 1523 К на воздухе.

Измерение спектров фотолюминесценции при температуре 300 К проводили в Институте физики им Б.И. Степанова НАН Беларуси. Низкотемпературные спектры фотолюминесценции были получены при 77 К в Институте физики твердого тела Латвийского университета. Магнитные свойства (молярная магнитная восприимчивость, температуры 5–50 К, магнитные поля до 14 Тл) измеряли в ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»

Анализ полученных при комнатной температуре и температуре кипения жидкого азота спектров фотолюминесценции ($\lambda_{\text{возб}} = 320$ нм), например, твердого раствора $\text{La}_{0,98}\text{Sm}_{0,02}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$, (рис. 1), показывает, что снижение температуры приводит к изменению соотношения интенсивностей полос фотолюминесценции ионов Sm^{3+} . При комнатной температуре интенсивности полос фотолюминесценции с $\lambda_{\text{макс}} = 600$ и 430 нм почти одинаковы. При температуре кипения жидкого азота интенсивность полосы фотолюминесценции при 600 нм почти в два раза больше, чем интенсивность полосы при 430 нм.

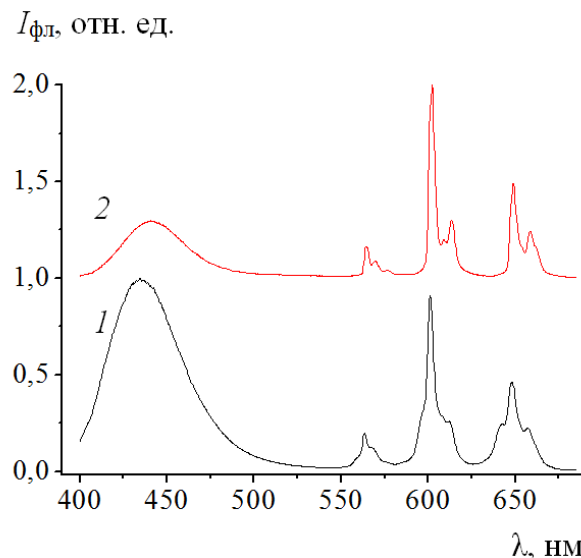


Рисунок 1 – Спектры фотолюминесценции твердого раствора $\text{La}_{0,98}\text{Sm}_{0,02}\text{In}_{0,98}\text{Sb}_{0,02}\text{O}_3$ при $\lambda_{\text{возб}} = 320$ нм, полученные при 300 К (1) и 77 К (2)

Намагниченность большинства исследованных твердых растворов при увеличении напряженности магнитного поля до 14 Тл (рисунок 2) увеличивается нелинейно с постепенным подходом к магнитному насыщению, которое, однако, не достигается в поле напряженностью 14 Тл.

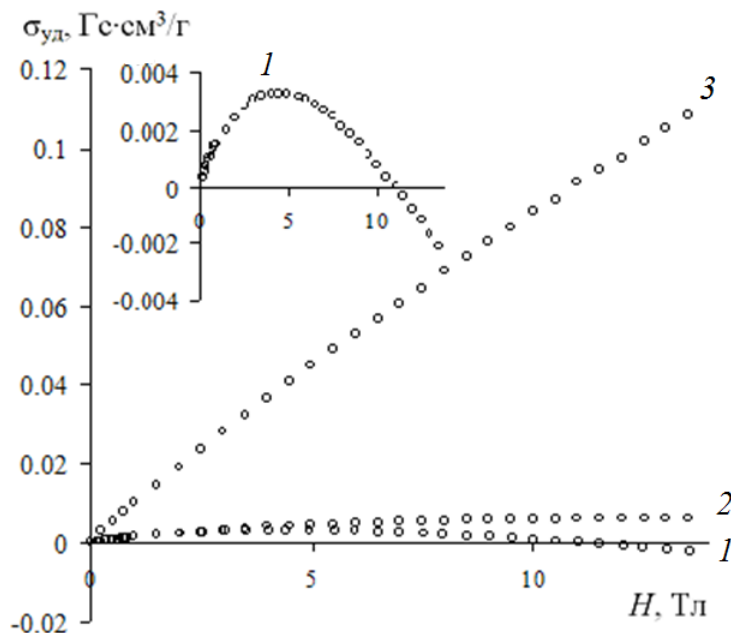


Рисунок 2 – Полевые зависимости удельной намагниченности при 5 К твердых растворов $\text{La}_{1-x}\text{Eu}_x\text{InO}_3$ ($x = 0,005$ (1); 0,01 (2); 0,1 (3))

Показано, что при 5 К для твердых растворов $\text{La}_{0,999}\text{Pr}_{0,001}\text{InO}_3$ и $\text{La}_{0,995}\text{Eu}_{0,005}\text{InO}_3$ (рисунок 2, вставка) увеличение напряженности маг-

нитного поля до 5 Тл приводит к постепенному возрастанию парамагнитной удельной намагниченности. В дальнейшем при увеличении напряженности магнитного поля происходит снижение величины намагниченности. Это обусловлено тем, что диамагнитный вклад в намагниченность этих твердых растворов становится больше парамагнитного вклада, и в магнитных полях более 11 Тл она переходит в диамагнитную область. Это приводит к формированию на полевых и температурных зависимостях магнитных свойств этих образцов точек компенсации намагниченности и магнитной восприимчивости, характерных для ферримагнетиков с антипараллельно ориентированными магнитными моментами. Удельная намагниченность при 5 К и 40-50 К остальных твердых растворов на основе индата лантана является положительной в магнитных полях до 14 Тл. Нелегированный LaInO_3 является диамагнитным в магнитных полях до 14 Тл.

Полученные в работе результаты могут быть использованы при проведении научных работ фундаментального и прикладного характера, посвященных решению проблем физики и химии фотоллюминофоров, магнитных материалов на основе LaInO_3 со структурой перовскита, легированного ионами редкоземельных элементов, и их использованию при изготовлении светодиодов белого света и других устройств электронной техники.

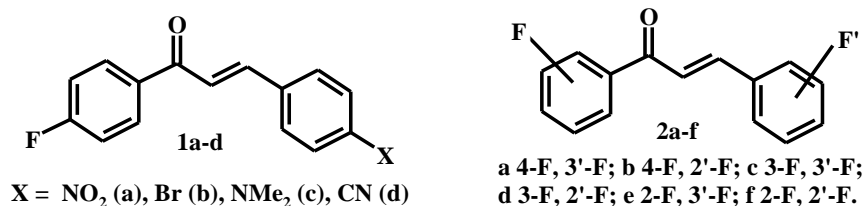
ЛИТЕРАТУРА

1. Luminescent properties of a new red-emitting phosphor based on LaInO_3 for LED / A. Tang [et al.] // *Optoelec. Adv. Mater.* – 2011. – Vol. 5, No. 10. – P. 1031–1034.
2. Luminescent properties of novel reddish-orange phosphor $\text{LaInO}_3:\text{Sm}^{3+}$ for white light emitting diodes / A. Tang [et al.] // *Optelec. Adv. Mater. Rapid Comm.* – 2015. – Vol. 9, Iss. 1–2. – P. 20–23.
3. Liu, X. Synthesis and luminescent properties of $\text{LaInO}_3:\text{RE}^{3+}$ (RE = Sm, Pr and Tb) nanocrystalline phosphors for field emission displays / X. Liu, J. Lin // *Solid State Sci.* – 2009. – Vol. 11. – P. 2030–2036.
4. Liu, X. Tunable Photoluminescence and cathodoluminescence properties of Eu^{3+} -doped LaInO_3 nanocrystalline phosphors / X. Liu, L. Yan, J. Lin // *J. Electrochem. Soc.* – 2009. – Vol. 156, Iss. 1. – P. 1–6.
5. Unravelling the energy transfer mechanism in bismuth co-activation of $\text{LaInO}_3:\text{Sm}^{3+}/\text{Ho}^{3+}$ nanophosphor for color-tunable luminescence / Ch. Satya Kamal [et al] // *RSC Adv.* – 2017. – Vol. 7. – P. 9724–9731.

ОСОБЕННОСТИ ИК И ЯМР СПЕКТРОВ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ 1,3-ДИАРИЛПРОП-2-ЕН-1-ОНОВ

Замещенные 1,3-диарилпроп-2-ен-1-оны (халконы) находят широкое практическое применение [1, 2]. Для веществ данного ряда обнаружены различные виды биологической активности. Известны также технически значимые материалы на основе замещенных халконов [1, 2].

Фторсодержащие халконы известны достаточно давно. Интерес к веществам данной группы обусловлен наличием различных типов биологической активности [1, 2]. Так, для фторсодержащих халконов обнаружены противобактериальные свойства, антимикробактериальная активность, фунгицидная активность, цитотоксичность. Также среди веществ данной группы обнаружены ингибиторы ферментов.



Интерес к замещенным халконам обусловлен не только разнообразием типов биологической активности или возможностями их технического применения. Вещества данного ряда обладают существенным синтетическим потенциалом. В первую очередь этот потенциал связан с трансформацией еноновой 1,3-дифункциональной группы. На основе халконов могут быть получены соединения, содержащие различные типы пяти- и шестичленных гетероциклов [1, 2].

В рамках работ по синтезу и изучению свойств замещенных 2-изоксазолинов нашей исследовательской группой получен ряд фторсодержащих 1,3-диарилпроп-2-ен-1-онов **1a-d** и **2a-f**. Соединения **1a-d** относятся к ряду монофторсодержащих халконов, в которых атом фтора содержится только в 4 положении цикла А халконовой системы. В свою очередь еноны **2a-f** относятся к ряду дифторхалконов, в структуре которых содержится по одному атому фтора в циклах А и В халконовой системы.

Строение синтезированных соединений **1a-d** и **2a-f** подтверждено по данным ИК, ЯМР ¹H и ЯМР ¹³C спектров. ИК спектры кристаллических образцов в области 400–4000 см⁻¹ записаны в таблетках бромида калия на ИК-Фурье спектрометре Nexus. Для маслообразного

соединения **2f** ИК спектр зарегистрирован между пластинами бромида калия. Спектры ЯМР записаны на приборе BrukerAvance 500 (рабочая частота 500,13 МГц для ^1H и 125,75 МГц для ^{13}C) в растворах в дейтероацетоне.

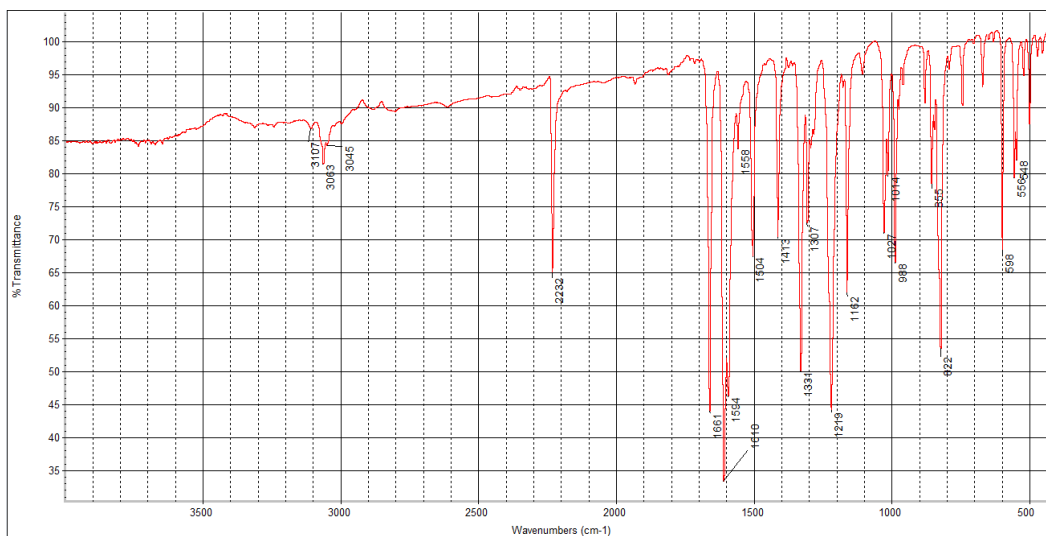


Рисунок 1

В связи с наличием достаточно большого числа спектральных данных для образцов 1,3-диарилпроп-2-ен-1-онов, содержащих атомы фтора в различных положениях, нами отмечен целый ряд особенностей в указанных типах спектров для синтезированных соединений.

Например, в ИК спектре халкона **1d** присутствуют полосы валентных колебаний связей C–H при 3107, 3063 и 3045 cm^{-1} . Также присутствуют полосы колебаний группы C=O при 1661 cm^{-1} . Колебаниям связей C=C халконовой группы и C=C ароматических колец соответствуют интенсивные полосы при 1610, 1594 и 1504 cm^{-1} . В ИК спектре соединения **1d** обращает на себя внимание полоса группы C≡N при 2232 cm^{-1} .

В ЯМР ^1H спектре соединения **1d** винильным протонам отвечают два дублета при δ 7,82 и 8,05 м.д. с константой спин-спинового взаимодействия J 16 Гц. Величина константы указывает на *транс*-конфигурацию заместителей возле двойной связи. Протонам ароматического цикла В соответствуют дублеты при δ 7,87 и 8,06 м.д. с характерной для 1,4-дизамещенного бензольного цикла константой спин-спинового взаимодействия J 8 Гц.

Протонам ароматического цикла А, содержащего атом фтора, соответствуют триплет при δ 7,34 (J 9 Гц) и дублет дублетов при δ 8,27 (J₁ 5,5 Гц, J₂ 9 Гц). Такая мультиплетность сигналов соответствует спин-спиновому взаимодействию указанных протонов друг с другом и атомом фтора.

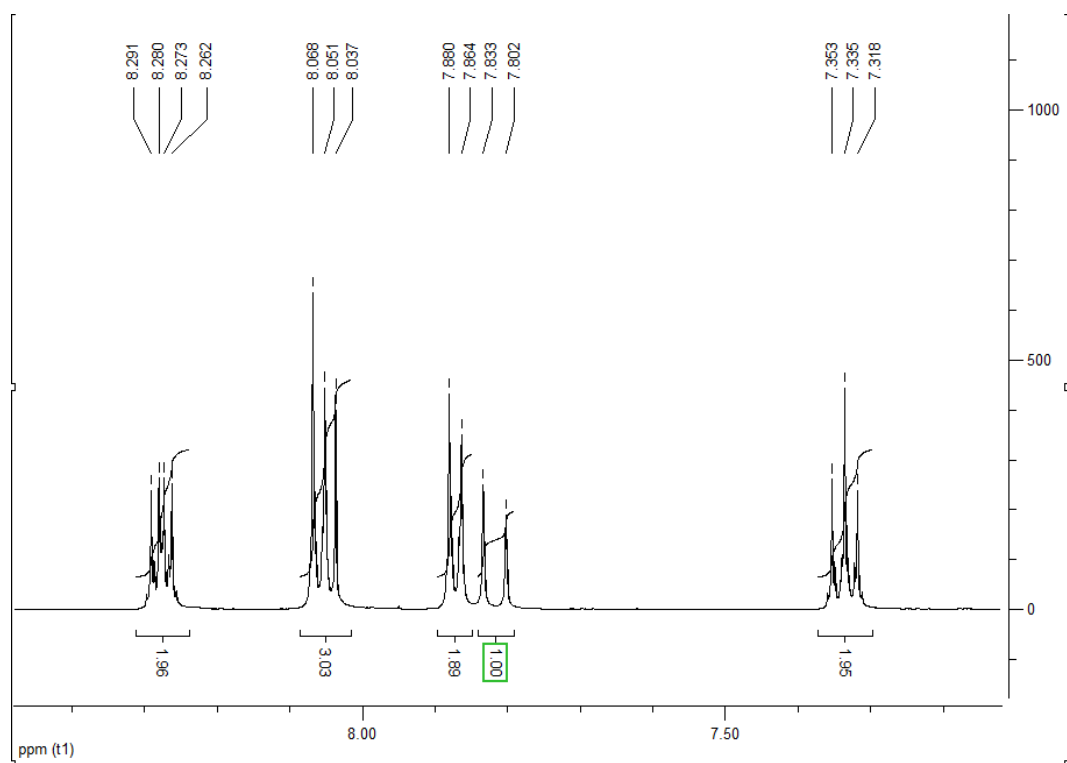


Рисунок 2

В свою очередь в ЯМР ^{13}C спектре халкона **1d** фиксируются сигналы всех атомов углерода этого вещества.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорганическая химия» (подпрограмма «Синтез и направленное модифицирование регуляторов биопроцессов» (Биорегуляторы), задание 2.1 (НИР 8).

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhuang C., Zhang W., Sheng C., Zhang W., Xing C., Miao Z. Chalcone: A Privileged Structure in Medicinal Chemistry // *Chem. Rev.* – 2017. – Vol. 117, № 12. – P. 7762–7810.

2. Dan W., Dai J. Recent developments of chalcones as potential antibacterial agents in medicinal chemistry // *Eur. J. Med. Chem.* – 2020. – Vol. 187. – Article 111980. – 36 P.

А.Ю. Сидоренко, канд. хим. наук; Ю.М. Курбан;
В.Е. Агабеков, д-р. хим. наук, академик НАН Беларуси
(Институт химии новых материалов НАН Беларуси, г. Минск)

ПОЛУЧЕНИЕ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ НАНОТРУБОК ИЗ КАОЛИНА

Природные алюмосиликатные нанотрубки (АНТ), в частности галлуазитовые, могут использоваться в качестве эффективных катализаторов, адсорбентов и др [1]. Перспективным направлением является получение синтетических АНТ путем направленной деформации алюмосиликатных слоев каолина [2].

Так, последовательное введение (интеркаляция) молекул диметилсульфоксида (ДМСО), метанола (MeOH) и солей алкилтриметиламмония в слоистую структуру каолинита и последующее термическое воздействие приводит к скручиванию алюмосиликатных слоев до достижения стабильной трубчатой формы. Для синтеза алюмосиликатных нанотрубок требуется использование высоких температур, давления и большого (200 мл/г) количества реагента (метанол) и длительного времени (до 10 суток) [3]. Поэтому разработка методов их получения в мягких условиях представляется весьма перспективной.

На территории Беларуси расположены два наиболее крупных месторождения каолиновых глин: «Ситница» (Лунинецкий р-н, Брестская обл.) и «Дедовка» (Житковичский р-н, Гомельская обл.), содержание каолинита в которых практически одинаково [4].

Разработан способ получения алюмосиликатных нанотрубок из отечественного каолина месторождения «Дедовка» (Гомельская обл.) при атмосферном давлении, невысоких температурах (60 – 66°C) и относительно небольшом (7,0 мл/г) количестве метанола, необходимого для их формирования [3]. Значительно меньшее количество этого реагента обусловлено использованием экстрактора Сокслета, при этом время обработки составляло 12 ч. В результате были получены алюмосиликатные нанотрубки длиной 800–1100 нм и диаметром 50 – 60 нм [3]. По разработанной методике нанотрубки также были синтезированы из коммерческого каолина компании Merck (Германия). Изображения ПЭМ полученных алюмосиликатов с нанотрубчатой структурой представлены на рисунке 1.

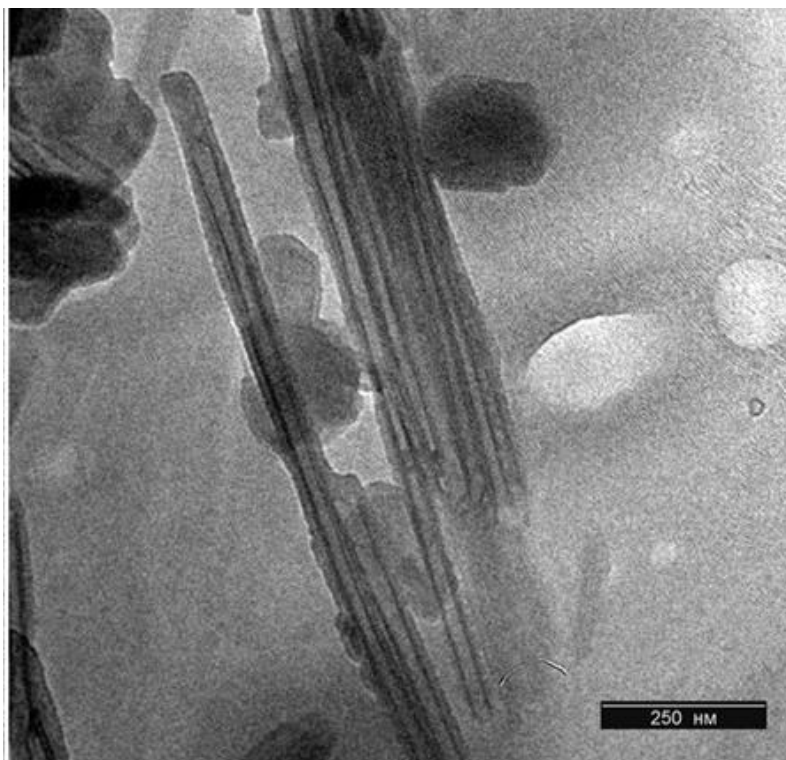


Рисунок 1 – Изображение ПЭМ нанотрубок, полученных из каолина месторождения «Дедовка»

ЛИТЕРАТУРА

1. Massaro M., Past, present and future perspectives on halloysite clay minerals / M. Massaro, R. Noto, S. Riela // *Molecules*. – 2020. – Vol. 25. – N 20. – 4863.
2. From platy kaolinite to aluminosilicate nanoroll via one-step delamination of kaolinite: effect of the temperature of intercalation / P. Yuan [et al.] // *Applied Clay Science*. – 2013. – Vol. 83. – P. 68–76.
3. Получение алюмосиликатных нанотрубок из природного каолина / В. Е. Агабеков [и др.] // *Докл. Нац. акад. наук Беларуси*. – 2021. – Т. 65, № 5. – С. 576–581. *Докл. Нац. акад. наук Беларуси*. – 2021. – Т. 65, № 5. – С. 576–581.
4. Дятлова Е.М., Структурные особенности природных и обогащенных каолинов месторождений Республики Беларусь / Е.М. Дятлова, О.А. Сергиевич, Н.М. Бобкова // *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук*. – 2018. – Т. 54. – №.1. – С. 96–102.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДИК ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР

В настоящее время продолжают активные материаловедческие исследования, в рамках которых реализуются современными тенденциями развития пленочных структур такие, как переход от микро- к наноструктурированным пленкам индивидуальных соединений и твердых растворов, замена функционального контакта в виде р-п-перехода или контакта Шоттки на гетеропереход, что позволяет существенно повысить эффективность микро-, нано- и оптоэлектронных приборов благодаря эффектам сверхинжекции, широкозонного окна, квантового ограничения и другим.

Активно продолжают разработки гетероструктурных материалов на основе поглощающих сульфидных слоев. В частности, подчеркивается перспективность использования недорогих бинарных сульфидов металлов, включая Sb_2S_3 , SnS , PbS , Cu_2S , Ag_2S , Bi_2S_3 и FeS_2 [1], в качестве светопоглощающих материалов в тонкопленочных солнечных элементах.

Анализ актуальных литературных данных показывает, что в гетероструктурах для солнечных элементов на основе поглощающего слоя SnS в качестве слоя, выполняющего функцию широкозонного окна, по-прежнему активно изучаются такие широкозонные полупроводники, как халькогениды CdS , ZnS , $Cd_xZn_{1-x}S$, а также оксиды ZnO , TiO_2 , SnO_2 и другие материалы. Касаясь динамики прогресса в улучшении выходных параметров фотовольтаических структур, можно заметить, что в обзоре интернационального коллектива авторов 2010 года [2] в качестве лидера указывалась гетероструктура CdS/SnS , для которой при использовании метода вакуумного напыления были достигнуты следующие фотовольтаические параметры: напряжение разомкнутой цепи $V_{oc} = 0,500$ В, плотность тока короткого замыкания $J_{sc} = 10,0$ мА/см², коэффициент заполнения световой ВАХ $FF = 50$ % и конверсионная эффективность – 2,5 %. К настоящему времени одним из самых высоких показателей эффективности среди солнечных элементов на основе SnS является КПД преобразования на уровне 5 %, достигнутый авторами [3, 4] при использовании гетероструктуры SnS/TiO_2 .

Таким образом, актуальным направлением развития SNS-оптоэлектроники является более активное исследование гетероструктур, в которых в качестве широкозонного полупроводника используются оксидные, а не сульфидные полупроводники, в частности ZnO, TiO₂, SnO₂, CuO, NiO и другие полупроводниковые оксиды. Насущной задачей является исследование комбинированных аппаратно несложных методик формирования гетероструктур, позволяющих, с одной стороны, обеспечить снижение продолжительности формирования поглощающего слоя SnS повышенной толщины и, с другой стороны обеспечить управляемое нанесение наноразмерного контактного слоя широкозонного полупроводника.

Объектами исследований в данной работе выступали фоточувствительные гетероструктуры ZnO/SnS_x на основе светопоглощающих пленок сульфидов олова (II). Моносульфид олова SnS относится к классу полупроводников A^{IV}B^{VI} и характеризуется слоистой кристаллической структурой, атомные слои которой связаны только силами Ван-дер-Ваальса. Это позволяет использовать SnS для создания гетеропереходов с высокой степенью гетерогенности без промежуточных электронных уровней на поверхности контакта слоев.

При формировании гетероструктур на основе поглощающего слоя SnS_x и широкозонного окна ZnO целью являлось получение поглощающего сульфидного слоя повышенной толщины и прозрачного оксидного слоя пониженной толщины. При формировании гетероструктур были изучены варианты варьирования последовательности нанесения слоев методом ионного наслаивания, то есть были сформированы гетероструктуры ZnO/SnS_x/ITO и SnS_x/ZnO/ITO. Кроме того, была разработана и изучена методика комплексного жидкофазного осаждения гетероструктуры ZnO/SnS_x/ITO в цикле «электроосаждение SnS_x – ионное наслаивание ZnO».

Данные по структурно-химическим характеристикам пленок SnS_x, электроосажденных в импульсном режиме на электропроводящих подложках (Cu или ITO), полученные с помощью растровой электронной микроскопии и энергодисперсионного микроанализа показали, что образование стехиометричных пленок SnS_{1±δ} при δ ≤ 10% наблюдается при использовании подложек ITO/стекло с толщиной электропроводящего слоя ITO не менее 100 нм и поверхностным электросопротивлением не более 50 Ом/□.

Исследования с помощью методов спектрофотометрии, вольт-амперометрии по влиянию режимов электроосаждения слоя SnS_x и ионного наслаивания слоя ZnO на их оптические и электроннотранспортные свойства показали, что использование метода электроосаждения для формирования светопоглощающего базового слоя SnS_x позволяет обеспечить получение покрытий с высоким коэффициентом

оптического поглощения на уровне $5-9 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$ и стабильным омическим состоянием в диапазоне рабочих температур 20–150 °С.

Таблица 1 – Результаты исследования фоторезистивных свойств гетероструктуры 20ZnO/120SnS_x/ITO

Мощность излучения, Вт	Поверхностное электропротивление, кОм/□		
	SnS _x /ITO	SnS _x -SnS _x	SnS _x /ZnO
0	1123,4	784,5	8602,4
1	1078,5	688,3	7553,3
2	1024,4	640,8	7437,6
3	988,5	629,5	7341,0
4	925,1	568,1	7138,3
5	868,3	543,0	6932,2
6	828,3	531,4	6682,3
7	801,9	495,4	6320,4
8	774,6	488,2	5407,1
9	754,5	478,7	4895,5
10	741,9	450,2	3954,4

Разработка методики формирования фоточувствительных планарных субмикронных гетероструктур ZnO/SnS_x с использованием комбинированного цикла «электроосаждение SnS_x - ионное наслаивание ZnO» и сформированы планарные субмикронные гетероструктуры ZnO/SnS_x, которые проявляют перспективные фоточувствительные свойства, в частности, обеспечивают по сравнению с индивидуальными пленками SnS_x повышение генерируемой величины фотоэдс до 0,2 В или в 2,8 раза, а также повышение фоторезистивной чувствительности до значений 560 Ом/Вт или в 4 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. A review on binary metal sulfide heterojunction solar cells // D. G. Moon, S. Rehan, D.H. Yeon et al. // Solar Energy Mater. Solar Cells. – 2019. – Vol. 200. – Ar. 109963. – 23 p.
2. Thin films of tin sulfide for application in photovoltaic solar cells / K.T. Ramakrishna Reddy, P. Prathap, R.W. Miles // Photovoltaics: developments, applications and Impact. Energy Science, Engineering and Technology. –New York: Nova Science Publishers, 2010. – P. 37–62.
3. Efficient nanostructured TiO₂/SnS heterojunction solar ceels / H.S. Yun, B. Park, J. Im [et al.] // Adv. Energy Mater. – 2019. – Vol. 9, No.35. – P. 99–105.
4. Photovoltaic behavior of SnS solar cells under temperature variations / Cheraghizade M. [et al.] // Optik. – 2022. – Ar. 168635. – 9 p.

А.В. Пянко, ассист.;
О.А. Алисиенок, доц., канд. хим. наук;
П.Б. Кубрак, доц., канд. хим. наук;
А.А. Черник, доц., канд. хим. наук
(БГТУ, г. Минск)

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ Sn-Ni-КОМПОЗИТ «SiO₂/TiO₂»

Электроосаждение сплавов металлов и композиционных покрытий на их основе являются одним из эффективных методов повышения качества гальванических покрытий. Совместное осаждение металлов позволит получать покрытия с более высокими декоративными и антикоррозионными свойствами, с более высокой износостойкостью и твердостью по сравнению с индивидуальными покрытиями теми же металлами.

Сплав олово-никель обладает рядом преимуществ перед многими гальваническими покрытиями, а именно: высокой антикоррозионной стойкостью во многих средах (NaCl, HCl, H₂SO₄ и HNO₃ (до 0,01 М)), повышенной твердостью и износостойкостью, высокой устойчивостью к потускнению, декоративностью, гипоаллергенностью [1].

Для придания металлической поверхности улучшенных физико-химических и механических свойств в качестве инертной фазы может выступать композит «ядро SiO₂/оболочка TiO₂» [1, 2], который широко используется в реакциях фотогидротации органических загрязнений и разложении модифицирующих микроорганизмов.

Внедрение композита «SiO₂/TiO₂» в состав покрытия позволит придать поверхности свойства антибактериальности по отношению к грамположительным и грамотрицательным штаммам бактерий.

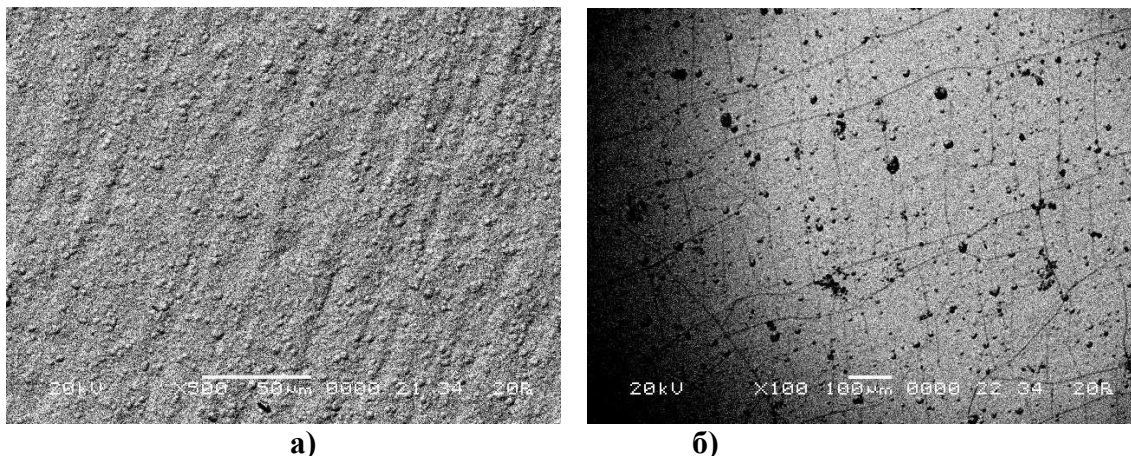
Таким образом исследование композиционного электрохимического покрытия Sn-Ni-композит «SiO₂/TiO₂» является актуальной задачей.

В качестве электролита осаждения сплава олово-никель использовали фторид-хлоридный электролит, который позволяет получать покрытия стабильного химического и фазового состава. Композит синтезировали по методике [3]. Оптимальными режимами осаждения являлись: T = 70–75°C; pH = 2,5–3, плотность тока – 1 А/дм². Толщина покрытий составляла 9 мкм.

Установлено, что формирование сплава олово-никель и композиционного покрытия на его основе протекает с эффектом деполяризации. Повышение температуры электролита способствует снижению

катодного перенапряжения.

По результатам сканирующей электронной микроскопии установлено, что покрытия являются беспористыми, равномерными (рисунок 1, а). Однако, повышение концентрации композита « $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ » до 6 г/дм^3 приводит к охрупчиванию и растрескиванию покрытий (рисунок 1, б). Следует отметить, что трещины преимущественно образуются в местах включения частиц « $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ ». Это может свидетельствовать об увеличении внутренних напряжений в покрытии.



а) б)
**Рисунок 1 – СЭМ изображения электрохимических покрытий:
а – Sn-Ni; б – Sn-Ni-« $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ »**

Установлено, что при увеличении концентрации (с 2 до 6 г/дм^3) композита « $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ » в электролите возрастают шероховатость и микротвердость формируемых композиционных покрытий.

По результатам энерго-дисперсионного анализа установлено, что при увеличении концентрации композита « $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ » в электролите повышается его содержание в составе покрытий. При концентрации 6 г/дм^3 композита в исследуемом электролите содержание TiO_2 составляет 1,65 масс.%. Диоксид кремния в составе покрытий не обнаружен.

Изучены коррозионные параметры композиционных электрохимических покрытий в среде 3% раствора NaCl. Установлено, что для покрытий, осажденных при содержании 6 г/дм^3 в электролите « $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ », происходит увеличение тока коррозии. Это, предположительно, связано со значительным растрескиванием покрытий (рисунок 1, б).

Исследование антибактериальных свойств по отношению к *E. coli* ATCC 8739 и *St. aureus* ATCC 6538 позволило установить зависимость концентрации композита на выживаемость бактерий. Таким образом, при концентрации 6 г/дм^3 композита в исследуемом электролите выживаемость бактерий *E. coli* ATCC 8739 сокращается в

3,1 раза, а для *St. aureus* ATCC 6538 в 4.2 раза.

Таким образом, исследовано влияние концентрации композита на физико-химические и механические свойства, определено влияние содержания композита на выживаемость бактерий. Установлено, что повышение концентрации «SiO₂/TiO₂» в составе раствора приводит к увеличению его содержания в составе покрытия.

При повышении концентрации более 4 г/дм³ происходит растрескивание покрытий, что значительно сказывается на параметрах коррозионного процесса. Выявлена зависимость выживаемости грамотрицательных и грамположительных бактерий на поверхности композиционного электрохимического покрытия от содержания «SiO₂/TiO₂».

ЛИТЕРАТУРА

1. Pyanko, A.V. Tin-Nickel-Titania composite coatings / A.V. Pyanko, I.V. Makarova, D.S. Kharitonov et al. // *Inorg. Materials.* – 2019. – V. 55. Issue 6. – pp. 568–575.

2. Пянко, А.В. Самоочищающиеся композиционные покрытия / А. В. Пянко, А. А. Черник, О. А. Алисиенок [и др.] // *Современные электрохимические технологии и оборудование : Материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 18–20 мая 2021 года.* – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2021. – С. 283-285.

3. Мурашкевич, А.Н. Синтез и свойства мезопористого композита на основе TiO₂ и SiO₂ / А.Н. Мурашкевич, А.С. Лавицкая, О.А. Алисиенок [и др.] // *Неорган. материалы.* – 2009. – Т. 45 (10). – С. 1.

И. Сидоров, маг. тех. наук, асп.;
В.В. Жилинский, канд. хим. наук, доц. (БГТУ, г. Минск);
В.П. Новиков, канд. физ.-мат. наук, зав. лаб.
(ПНЦ по материаловедению НАН Беларуси, г. Минск)

СИНТЕЗ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ NaCoFe(CN)_6 ДЛЯ НАТРИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Постоянное увеличение потребности в литий-ионных аккумуляторах и среднего размера накопителей сталкивается с проблемой дороговизны лития, ограниченности его мировых запасов и неоднородного распределения литийсодержащих природных ископаемых по странам [1]. Расчёты показывают, что при текущем потреблении лития его запасов хватит не более чем на 150 лет. Кроме того, мировые цены на основное сырьё для материалов литий-ионных аккумуляторов – карбонат лития – в 20–30 раз превышают цены на карбонат натрия [1].

В настоящее время известно множество катодных материалов на основе слоистых оксидов, фосфатов для НИА, однако отдельным классом стоит выделить катодные материалы на основе берлинских лазурей и ее аналогов [2].

По методике [3] был синтезирован кобальтовый аналог берлинской лазури АБЛ-4 по уравнению реакции:



Ряд аналогов берлинской лазури синтезировали из 100 мл 0,1М водного раствора $\text{Na}_3[\text{Fe(CN)}_6]$ разогревали до температуры 70 °С и затем медленно (в течение 1 часа) прикапывали 0,1М водный раствор $\text{Co(NO}_3)_2$ (АБЛ-4) с постоянным перемешиванием. После окончания добавления второго раствора реакционную смесь дополнительно перемешивали в течение двух часов. При взаимодействии $\text{Na}_3[\text{Fe(CN)}_6]$ с солью переходного металла происходило образование кристаллов нерастворимых аналогов берлинской лазури. По окончании синтеза продукт реакции отмывался дистиллированной водой и центрифугировался.

После синтеза образец подвергался сушке в вакууме при температуре 110°С в течение 96 часов, а после помещался в эксикатор с водоотнимающим агентом – P_2O_5 .

При исследовании морфологии частиц было выявлено, что синтезированный материал АБЛ-4 имеет размер частиц порядка 100-250 нм (рисунок 1).

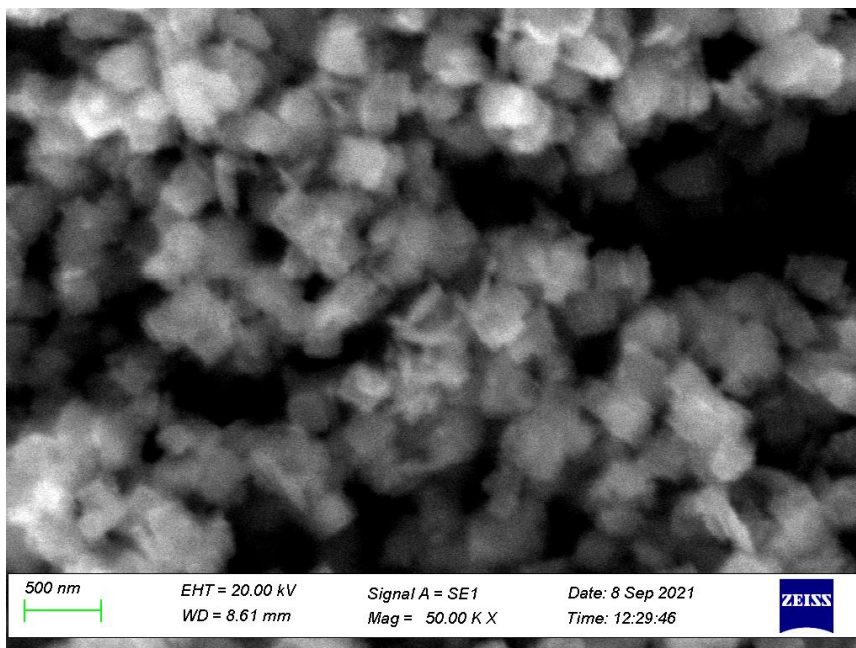


Рисунок 1 – Морфология поверхности синтезированного катодного материала АБЛ-4

В результате зарядно-разрядных исследований выявлено, что начальная удельная разрядная емкость катодного материала на основе АБЛ-4 при нормированном токе разряда 0,2С составила 81 мАч/г, а к 50 циклу она снизилась до 69 мАч/г в 1М NaClO₄, растворенного в смеси пропиленкарбоната и этиленкарбоната (1:1).

В результате электрохимических исследований установлено, что при интеркаляции в матрицу положительного электрода из АБЛ-4 коэффициент диффузии ионов натрия составил $4,147 \cdot 10^{-11}$ см²/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aqueous Rechargeable Li and Na Ion Batteries / H. Kim [et al.] // Chem. Rev., 2014. – Vol. 114. – P. 11788–11827.
2. Neutron Diffraction Study of Prussian Blue, Fe₄[Fe(CN)₆]₃ · xH₂O. Location of Water Molecules and Long-Range Magnetic Order / F. Herren, A. Ludi; P. Fischer; W. Halg // Inorg. Chem, 1980. – Vol. 19. – P. 956–959.
3. Removal of Interstitial H₂O in Hexacyanometallates for a Superior Cathode of a Sodium-Ion Battery / J. Song [et al.] // J. Am. Chem. Soc., 2015. – Vol. 137. – P. 2658–2664.

Я.Г Кузнецов, ст. 11 гр., 5 к. ф-та ХТиТ;
Д.В. Зиневич, ст. 11 гр., 4 к. ф-та ХТиТ;
В.В. Жилинский, канд. хим. наук, доц. (БГТУ, г. Минск);
А.М. Кузей, д-р. тех. наук, зав. лаб. (ФТИ НАН Беларуси, г. Минск)

ОСАЖДЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ СПЛАВОМ ЦИНК-НИКЕЛЬ

Покрытия сплавом Zn-Ni всё чаще применяют для замены токсичных и дорогостоящих кадмиевых и кадмий-титановых покрытий. В США цинк-никелевые покрытия наносят на детали радиоэлектронной аппаратуры и авиакосмической техники. В России эти покрытия широко применяют в трубной промышленности – их наносят на муфты насосно-компрессорных труб для повышения коррозионно-механической прочности их резьбовых соединений, а также на трубы, используемые для изготовления тормозных и топливных систем автомобилей [1].

В зависимости от процентного содержания никеля в сплаве меняются и свойства покрытия. При содержании никеля от 10% покрытие устойчиво в солевых средах и обладает самопассивацией, в то время как при содержании его более 25% - абсолютно устойчиво и может полностью заменить кадмий. Однако в этом случае оно перестает быть анодным к стали и продолжает защищать ее только механически (катодно) [2].

Замена существующих цинковых покрытий с хромированием на покрытия сплавом Zn-Ni, исключая хромовые стоки, является важной задачей для предприятий Беларуси.

Целью данной работы является исследование влияния параметров процесса электрохимического осаждения покрытий сплавом цинк-никель на коррозионную стойкость и микротвердость.

Выбор сульфатно-хлоридного электролита обоснован его распространенностью в промышленности, относительной простотой приготовления и доступностью компонентов. Приготовление электролита осуществлялось отдельным растворением компонентов электролита с последующим смешением полученных растворов. Для приготовления растворов использовалась дистиллированная вода и реактивы марки «хч», состав которых приведен в таблице 1. Навески компонентов были взяты на технических весах Масса-К ВК-600. Полученные образцы взвешивали на аналитических весах AS 220/C/2/N. Качество покрытий определяли визуально.

Таблица 1- Составы исследуемых электролитов и условия осаждения сплавов Zn-Ni

Компонент электролита	Номер электролита / Концентрация, г/л				
	1	2	3 (пер)	4 (пер)	5
ZnSO ₄	70				
NiCl ₂	70				
NH ₄ Cl	130				
Добавка А	50	—	—	50	50
Добавка В	—	5	5	5	5

Электрохимическое осаждения сплава цинк-никель проводили при температуре электролита 20-25 °С.

Изменение структуры электролитического осадка оказывает влияние на его функциональные свойства. Одной из важных в практическом отношении характеристик металлических поверхностей является микротвердость (Рисунок 1).

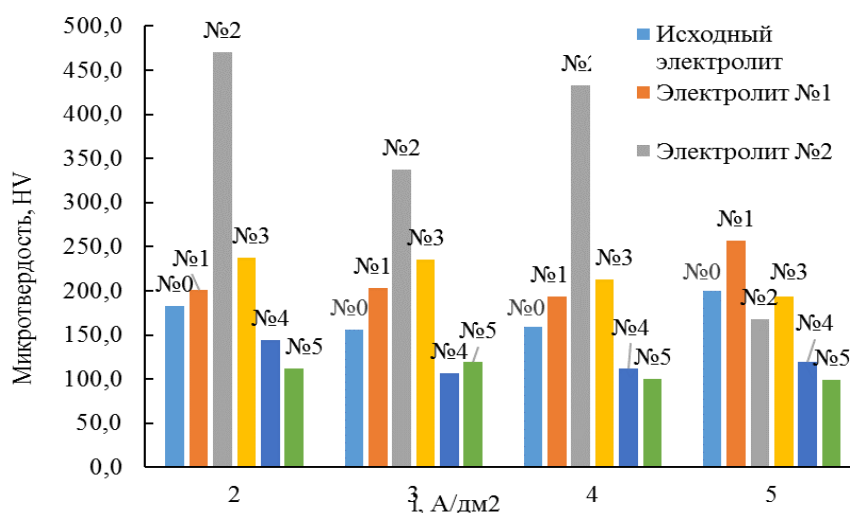


Рисунок 1 – Обобщенная диаграмма значений микротвердости покрытий сплавом Zn-Ni

Установлено, что микротвердость покрытий, полученных при катодных плотностях тока 2–5 А/дм² из исходного электролита, не содержащего добавок, колеблется в диапазоне 116-240 HV. Введение в электролит добавки А в количестве 50 мл/дм³ приводит к увеличению микротвердости формируемых гальванопокрытий от 182 до 288 HV. Отмечено, что микротвердость покрытий, полученных при катодных плотностях тока 2–5 А/дм² и с введением 5 мл/дм³ добавки В, колеблется в диапазоне 147-558 HV. Перемешивание электролита с добавкой В приводит к уменьшению микротвердости формируемых гальванопокрытий от 153 до 386 HV.

Установлено, что микротвердость покрытий, полученных при катодных плотностях тока 2–5 А/дм², перемешивании и введении добавок А и В, находится в диапазоне 96-165 НV. Без перемешивания электролита микротвердость формируемых гальванопокрытий составляет 95–124 НV.

Показано, что увеличение токовой нагрузки способствует незначительному уменьшению микротвердости полученных покрытий. Увеличение микротвердости покрытий, обусловлено эффектом упрочнения покрытия при включении добавки в состав осадка.

Морфология покрытия для сплава Zn-Ni, полученного из электролита № 2 при плотности тока 2 А/дм², представлена на рисунке 2.

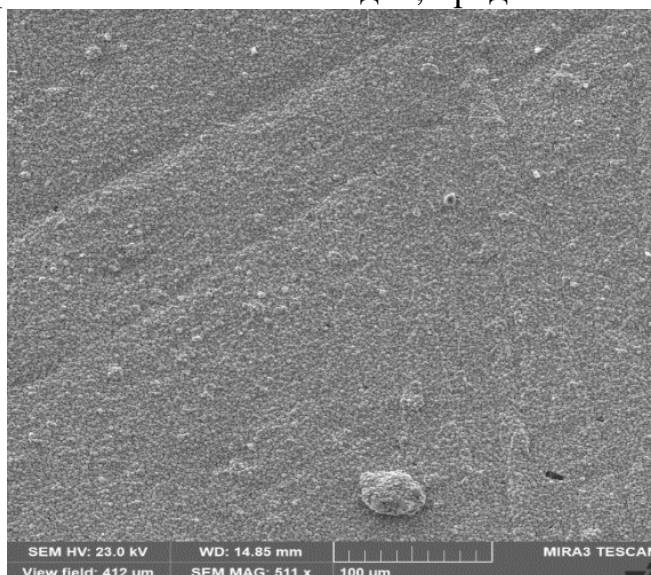


Рисунок 2 – Микроструктура покрытий Zn-Ni полученные из электролита № 2 при плотности тока 2 А/дм²

Покрyтия сплавом цинк-никель обладают декоративным внешним видом. Морфология покрытий ровная, имеет небольшую волнистость без острых граней.

Проведенные коррозионные испытания покрытий показали, что покрытие Zn-Ni, осажденное в стационарном режиме является более стойким в 3 % растворе NaCl, чем обычное цинковое покрытие.

Квазистационарные поляризационные кривые сплава цинк-никель, полученного из электролита №2 и №3, в 3% NaCl представлены на рисунке 3.

Установлено, что глубинный показатель коррозии для покрытий сплавом цинк-никель уменьшается с 0,03 до 0,025 мм/год при увеличении катодной плотности с 3,0 до 5,0 А/дм².

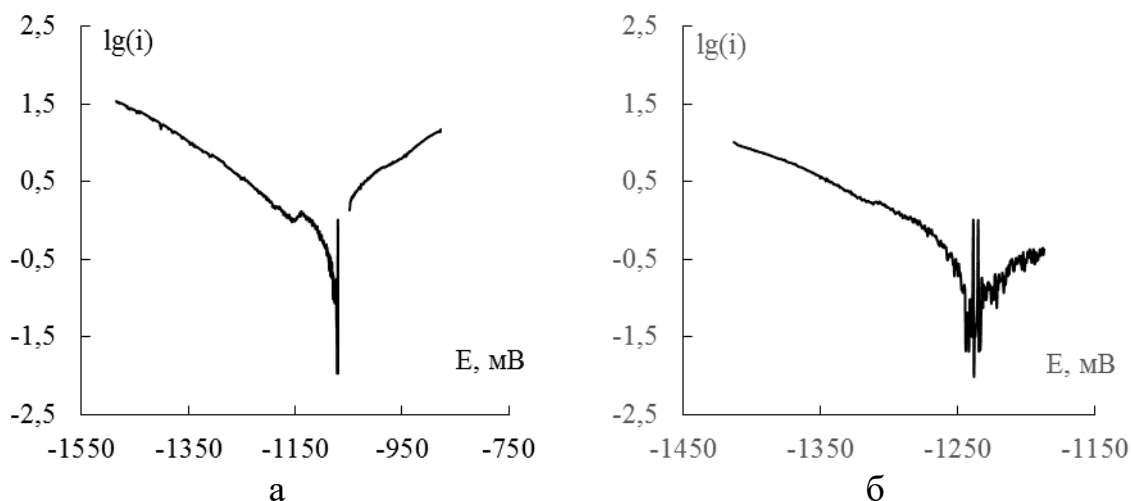


Рисунок 3 – Квазистационарная поляризационная кривая сплава цинк-никель, полученного из электролита №2 (а) и №3 (б), в 3% NaCl

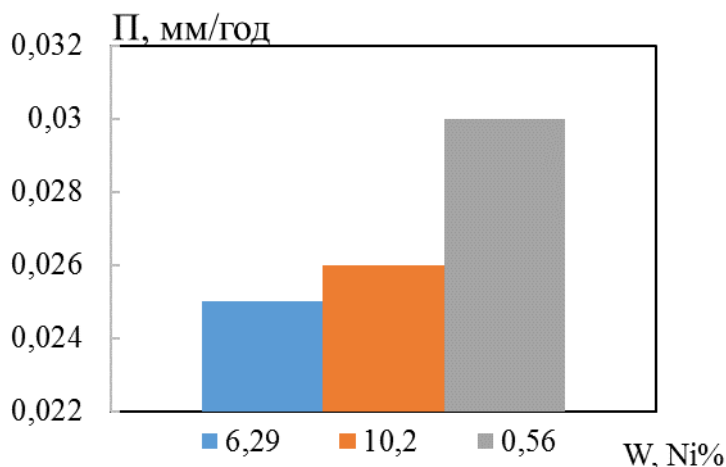


Рисунок 4 – Величина глубинного показателя коррозии сплава цинк-никель в 3% NaCl в зависимости от массовой доли Ni

Повышение коррозионной стойкости связано с увеличением массовой доли никеля с 0,56 до 6,29-10,2 мас. %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проскуркин, Е.В. Цинкование / Е.В. Проскуркин, В.А. Попович, А.Т. Мороз. – М.: Металлургия, 1988. – 528 с.
2. Рябчикова А.В. Перспективные использования цинк-никелевых сплавов, осажденных в полиэтиленполиаминовом электролите / Рябчикова А.В. // Технология и организация производства. – 1974. – № 1. – С. 50-51.

УДК 621.352.312

Г.Г. Печенова, асп.; А.А. Черник, доц., канд. хим. наук;
И.В. Каврус, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦИНКА ИЗ ЩЕЛОЧНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ АКТИВНОЙ МАССЫ ОТРАБОТАННЫХ МАРГАНЦЕВО-ЦИНКОВЫХ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Аннотация. В данной работе рассмотрена возможность переработки активной массы отработанных марганцево-цинковых химических источников тока методом выщелачивания раствором 10% гидроксида натрия с последующим извлечением цинка электроэкстракцией в виде осадка или порошка.

Введение

Сбор и утилизация отработанных химических источников тока (ХИТ) являются эффективными мероприятиями по уменьшению техногенного воздействия на окружающую среду. Компоненты ХИТ после разделения и переработки являются ценными коммерчески продуктами.

Процесс утилизации представляет собой последовательность сложных многостадийных превращений с выделением чистых компонентов. Наиболее перспективным способом переработки марганцево-цинковых (МЦ) ХИТ является гидрометаллургический способ с применением электрохимических процессов для извлечения цинка и марганца.

Последовательность стадий включает в себя измельчение с отделением металлической составляющей с последовательной обработкой активной массы растворами кислот или щелочей для перевода соединений в растворимую форму. Далее – электрохимическая стадия с извлечением цинка в катодном процессе.

Методика эксперимента

Анализ состава электролита после выщелачивания 10% раствором гидроксида натрия проводили титрометрическим методом, результаты которого представлены в таблице 1.

Установлено, содержание ионов цинка Zn (II), марганца Mn (II) и железа Fe (II) в электролите выщелачивания почти не зависит от вида МЦ элемента.

Таблица 1 – Состав электролита после выщелачивания активной массы

Определяемый компонент	Выщелачивание в 10%-ном NaOH	
	Щелочной МЦ ХИТ	Солевой МЦ ХИТ
	С, г/дм ³	С, г/дм ³
Zn (II)	34	37
Mn (II)	57,24	55,36
Fe (II)	0,0012	0,001

Нерастворимая часть осадка после выщелачивания анализировалась с помощью рентгенофазового анализа. Установлено, что основными компонентами активной массы являются цинк Zn, графит, интерметаллическое соединение $MnZn_{13}$ (с решеткой Браве). Эти фазы присутствуют в нерастворимом остатке как солевых, так и щелочных элементов.

Цинк извлекался из щелочного электролита выщелачивания электроэкстракцией. В качестве анода использовали графит, катод – сталь. В процессе электролиза каждые 30 мин отбирались пробы, и определялась концентрация цинка в электролите.

В процессе электролиза при постоянной плотности тока $0,5\text{A}/\text{дм}^2$ концентрация цинка Zn (II) в электролите за три часа уменьшалась с 37 до $15\text{ г}/\text{дм}^3$. При этом выход по току также уменьшается с 72% до 20%. Следует отметить, что при данных условиях цинк осаждается в виде компактного осадка. Применение плотностей тока выше $5\text{A}/\text{дм}^2$ позволяет извлекать цинк в виде порошка.

Таким образом, применение щелочных электролитов выщелачивания позволяет в значительной степени перевести соединения цинка в растворимую форму, а электроэкстракция позволяет выделить цинка в виде компактного осадка или порошка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Химические источники тока: Справочник / под редакцией Н.В. Коровина и А.М. Скундина. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 740 с.
2. Алкалиновые батарейки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://xn--80aabsug3boo.xn--plai/elementpitanija/83-alkalinovye-batareyki.html>. – Дата доступа: 23.09.2019.

ОЛИМПИАДА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ХИМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В данной публикации внимание уделено социальному значению организации и проведения химических олимпиад в период обучения в вузе, их роли в формировании высококвалифицированных специалистов - будущих инженеров-химиков-технологов.

На кафедре химии, технологии электрохимических производств и материалов электронной техники ежегодно организуются и проводятся олимпиады по дисциплинам «Теоретические основы химии» и «Неорганическая химия». Цель олимпиад - повысить заинтересованность студентов в изучении химических дисциплин, дать учащимся возможность проверить степень своих знаний и понимания предмета, выходящую за рамки программных требований, создать условия для развития одаренных студентов.

К участию в олимпиадах приглашаются студенты, имеющие достаточный уровень химических знаний. Олимпиады проводятся в конце семестра после изучения соответствующих дисциплин. Задания составляются в соответствии с изучаемым материалом и включают незнакомые контексты и идеи. Их решение требует глубокого усвоения материала и способности применения полученных знаний на практике. Студенты в процессе решения заданий показывают умение выполнять вычисления и интерпретировать полученные результаты.

Участие в олимпиадах предполагает дополнительную подготовку по определенному предмету. Следует отметить, что, в отличие от школьных олимпиад, где школьники глубже изучают предмет при подготовке к олимпиаде под руководством учителя, студенческие олимпиады в большей степени требуют самостоятельной подготовки студентов. При этом необходима консультация с преподавателями по подбору и решению нестандартных задач, а также задач повышенной сложности, выходящих за пределы программы.

В последние годы в связи с необходимостью использования дистанционного обучения широкое развитие приобрела индустрия education technology, или EdTech. Изначально главным форматом EdTech были простые веб-сайты, информация на которых, в основном, была представлена в виде wiki-текстов со списком необходимой дополнительной литературы. К середине нулевых стали появляться

полноценные платформы LMS (Learning Management System – «система управления обучением») с личным кабинетом учащегося, системой техподдержки, чатами и другими возможностями.

На кафедре химии, технологии электрохимических производств и материалов электронной техники практикуется гибридное обучение, сочетающее офлайн и онлайн обучения, широко используются новые форматы передачи знаний и организации учебного процесса с быстрой обратной связью, что позволяет повысить образовательные результаты обоих вариантов обучения.

Преподавателями кафедры активно используется дистанционная система управления обучением Moodle [1, 2]. Использование Moodle в учебном процессе помогает сохранять учебную мотивацию студентов разного уровня подготовки, в том числе и одаренных студентов.

При проведении олимпиады очень важным является вопрос, насколько объективно и прозрачно работает система оценивания участия студентов в олимпиадах. На кафедре проверка решения олимпиадных заданий проходит максимально объективно: каждая задача проверяется одним преподавателем. При этом не допускается снижение оценки за исправления, помарки, неразборчивый почерк и иные недочеты в оформлении. Если решение отлично от эталонного, оно рассматривается и внимательно изучается. При неверном ответе положительно оцениваются все правильные фрагменты решения. Таким образом, в результате четкой системы оценивания выявляются победители олимпиады.

Следует подчеркнуть, что основная задача олимпиады – не расстановка баллов, выявление победителей и призеров, а пропаганда науки, поиск и привлечение к науке одаренных студентов, создание возможностей для их развития и реализации способностей. Гонка за количеством дипломированных специалистов сменяется стремлением подготовки качественных специалистов.

После проведения олимпиады студенты активно обсуждают олимпиадные задания, пытаются еще раз проанализировать свой вариант ответа, сопоставить его с эталонным ответом, что вызывает заинтересованность к предмету. Как показывает практика, большинство победителей олимпиад по химии на первом курсе обучения в дальнейшем связывают свой личностный рост с выбором научной и преподавательской карьеры.

В свою очередь, анализ ответов на олимпиадные задания является ценным источником информации для преподавателей. Такой анализ дает возможность преподавателям выявить слабые места в образовательном процессе, проанализировать и улучшить методику пре-

подавания. Так, чаще всего среди недочетов в решениях выявляются следующие:

- неумение грамотно и последовательно излагать ход выполнения задания;
- отсутствие промежуточных стадий решения при оформлении ответов;
- отсутствие единиц измерения получаемых величин;
- неумение грамотно проводить математический расчет.

На отмеченные недочеты в дальнейшем обучении обращается особое внимание, что в итоге окажется полезным при оформлении студенческих работ.

От инженера-химика-технолога требуется умение не просто выполнять поставленные производственные задачи, а при необходимости грамотно действовать в непредвиденных ситуациях. Нестандартные задания учат преодолевать психологические нагрузки, свойственные работе в незнакомой обстановке, оперативно находить оптимальный выход в нестандартных ситуациях.

Таким образом, олимпиады по химическим дисциплинам способствуют формированию профессиональных компетенций у учащихся, помогают более глубокому и прочному усвоению химических знаний, повышают интерес к предмету и к данной области науки. Уровень образованности человека напрямую влияет на его компетентность, открывает новые возможности для профессионального роста и совершенствования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малашонок, И.Е. Опыт применения системы дистанционного обучения Moodle для студентов при изучении дисциплин «Теоретические основы химии» и «Неорганическая химия» / И.Е. Малашонок, И.В. Шуляк, С.Л. Радченко // Менделеевские чтения 2018: сб. материалов Республ. науч.-практ. конф. по химии и хим. образованию, Брест, 2 марта 2018 г.; под общей редакцией Н.Ю. Колбас. – Брест: БрГУ им. А.С. Пушкина, 2018. – С. 164-166.

2. Малашонок, И.Е. Использование системы управления обучением Moodle при подготовке студентов химико-технологических специальностей. / И.Е. Малашонок, О.И. Салычиц // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: XI Международная научно-методическая конференция, Минск, 12–13 дек. 2019 г./ Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: В.А. Прытков [и др.]. – Минск, 2019. – С. 192.

П.Б. Кубрак, доц., канд. хим. наук;
А.А. Черник, зав. каф. Х, ТЭХП и МЭТ, доц., канд. хим. наук;
Д.А. Веко, студ. 5 к. 11 гр., ф-т ХТиГ
(БГТУ, г. Минск)

АНОДНОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ СПЛАВА АЛЮМИНИЯ АД-31 В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ ЭЛЕКТРОЛИЗА

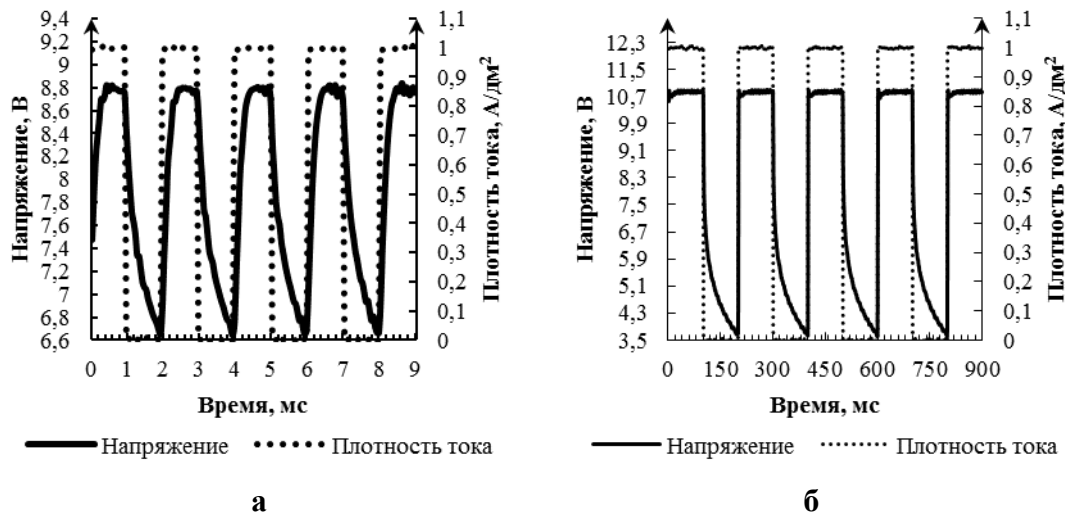
Одним из наиболее экономичных и экологически безопасных способов повышения качества анодно-оксидных пленок на алюминии и его сплавах является применение нестационарных токовых нагрузок при формировании покрытий [1]. Используя различные параметры импульсного процесса (длительность, амплитуда, скважность импульсов тока и напряжения, температура, гидродинамический режим), можно получать анодные оксиды с хорошей межфазной адгезией, обладающие повышенной коррозионной стойкостью и сопротивлением истиранию [2].

В работе исследовано влияние импульсного режима электролиза на свойства получаемых анодно-оксидных покрытий на образцах из сплава алюминия АД31, который широко используется в автомобильной, авиационной, легкой и мебельной промышленности.

Процесс анодирования проводили в гальваностатическом режиме при импульсной и стационарной токовой нагрузке в электролите содержащем 180,0 г/дм³ серной кислоты. Длительность анодных импульсов изменяли в диапазоне от 10⁻³ до 10⁻¹ с, скважность импульсов варьировали от 1,1 до 2,0. Электролиз проводили при амплитудной анодной плотности тока 1,0 А/дм² и температуре электролита 18-21°С. Длительность электролиза составляла 30 минут. Защитную способность анодно-оксидных покрытий оценивали методом капли, выход по току и толщину покрытий – гравиметрическим методом, путем сопоставления массы образцов с анодными пленками и после снятия последних.

При проведении исследования процесса импульсного анодирования сплава алюминия АД31 получены осциллограммы тока и напряжения, представленные на рисунке 1. При скважности импульсов, равной 2, значение амплитуды напряжения процесса возрастает от 8,8 до 10,7 В с увеличением длительности анодного импульса от 10⁻³ до 10⁻¹ с, что может указывать на инерционность процесса роста пленки (рисунок 1). При коротких импульсах тока образуется тонкий барьерный слой оксида, а роста оксидной пористой части пленки почти не происходит. За время релаксации в течение бестоковой паузы

часть оксида взаимодействует с электролитом, толщина пленки на локальных участках снижается. При подаче следующего импульса процесс образования оксида повторяется, напряжение при этом возрастает до квазистационарного значения и устанавливается вне зависимости от длительности паузы в течение 0,3-0,4 мс, что свидетельствует о наличии закономерности образования и роста пленки в нестационарном режиме.



Продолжительность импульса анодного тока, с: а – 10^{-3} ; б – 10^{-1}
Рисунок 1 – Осциллограммы тока и напряжения процесса анодирования сплава АД31 в сернокислем электролите при скважности 2

При проведении исследований процесса импульсного анодирования сплава алюминия АД31 определено влияние скважности и длительностей гальваностатических импульсов на защитные, электроизоляционные и другие свойства анодно-оксидных покрытий. Защитная способность оксидных пленок в большинстве случаев не зависит от толщины пленки и изменяется в пределах от 6,67 до 12,84 минут, что в несколько раз превышает рекомендуемые показатели для аналогичных покрытий, осажденных из сернокислых электролитов. Пробивное напряжение анодных пленок достигает максимальных значений (более 260 В) при длительности импульса 10^{-2} с. Это может говорить о том, что при указанной длительности импульсов анодного тока происходит формирование плотных и равномерных слоев анодного оксида. Наиболее вероятно при более коротких импульсах оксид формируется на локальных участках с постепенным заполнением всей поверхности в последующих импульсах. Увеличение длительности импульса более 10^{-2} с приводит к разрыхлению пленки, вследствие локального разогрева поверхности и интенсификации точечных химических реакций оксида с электролитом.

Таким образом, использование импульсного режима анодирова-

ния позволяет повысить электроизоляционные и защитные свойства анодных покрытий на поверхности сплава алюминия АД31 до 30 % и более по сравнению со стационарным режимом электролиза. Наиболее высокие значения указанных показателей соответствуют импульсному режиму с длительностью импульсов 10^{-2} с и скважностью процесса 1.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров, Я. А. Морфология анодного оксида алюминия и методы ее модификации / Я. А. Захаров, А. Н. Плиговка, А. А. Позняк // НАНБ. Порошковая металлургия. Физико-химические исследования материалов. – 2021. – № 43. – С.106-115.

2. Паршутто, А. А. Сравнительная оценка эффективности различных методов оксидирования / А.А. Паршутто // Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Металлургия.–2020.–№ 41.– С.125-131.

УДК 338.27:546.2:539.22:61

С.Н. Карзан, ст. 11 гр., 4 к. ф-та ХТиТ;
В.В. Жилинский, канд. хим. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)

СИНТЕЗ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

В настоящее время углеродные наноматериалы (УНМ), интерес к которым вызван уникальным комплексом присущих этим материалам физико-химических и механических свойств, имеют огромный спрос во множестве производственных сфер [1, 2]. УНМ можно использовать для изготовления высокоэффективных суперконденсаторов, аккумуляторов, элементов микроэлектроники и т. д. [1, 2].

Для получения УНМ был изготовлен реактор (300×150×150 мм) из нержавеющей стали Ст3. Вначале в реактор подавала смесь воздуха и углеводорода (метан, пропан или бутан), с объёмными долями газов, которые рассчитаны с условием полного окисления горючего газа. Далее подаваемая газоздушная смесь поджигалась и прогревала реактор до полного выгорания кислорода для исключения окисления УНМ. После того, как реактор прогрелся, на электроды подавалось напряжение 30 кВ и увеличивался поток подаваемого горючего газа в 2 раза, которая полностью сгорая, образовывала поток пламени (~1073 К). Вырываясь через специальное сопло, пламя проходило через сетчатый анод, выполненный из графита. Продукт, содержащий УНМ (диаметр многослойных углеродных нанотрубок до 200 нм), образовывался на катоде (сетка или

пластина из стали X18H9T). После завершения процесса из реактора извлекалась сетка с получившимся продуктом, содержащим УНМ, который подвергался электрохимической очистке в растворе серной кислоты с использованием методики [1] для выделения углеродных нанотрубок.

Приведенным способом можно получать УНМ, содержащий многослойные углеродные нанотрубки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чаевский, В.В. Изучение состава и структуры Ni- и Cr- композиционных электролитических покрытий, содержащих углеродные наноматериалы на стали / В.В Чаевский, В.Б Дроздович // Труды БГТУ, 2010.– Вып. 18, Сер. 6. Физ.-мат. науки и информатика. – С. 96–98.

2. Карзан, С. Н. Получение углеродных нанотрубок в низкотемпературной плазме / С. Н. Карзан // 71-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов: тезисы докладов, 20-25 апреля 2020 г., Минск : в 4 ч. Ч. 4. - Минск : БГТУ, 2020. - С. 119.

УДК 620.178.311:868

¹В.А. Ашуйко, доц., канд. хим. наук;

²Н.И. Урбанович, доц., канд. хим. наук;

¹Л.Н. Новикова, доц., канд. хим. наук;

²К.Э. Барановский доц., канд. хим. наук;

¹В.Г. Матыс, доц., канд. хим. наук;

(¹БГТУ, г. Минск; ²БНТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ АНТИКОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ ЦИНКСОДЕРЖАЩИХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Среди способов защиты металлов от коррозии часто используют нанесение на защищаемую поверхность цинкнаполненных красок. Цинкнаполненные покрытия отличаются долговечностью и используются, как правило, для защиты стальных конструкций, сооружений, эксплуатируемых в жестких условиях коррозионного воздействия. Широкому использованию цинкнаполненных лакокрасочных покрытий способствует простая технология окраски, допускающая возможность их нанесения на крупногабаритные конструкции в полевых условиях.

Защитное действие покрытий определяется анодным эффектом частиц цинка контактирующих с поверхностью стали и изолирующим действием лакокрасочного покрытия, которое препятствует контакту агрессивной среды со сталью.

В работе проведен анализ цинксодержащих лакокрасочных

покрытий следующих составов, приведенных в таблице 1.

**Таблица 1 – Составы цинкнаполненных композиций
(цинковая пыль – отхода процесса горячего цинкования стали)**

№ композиции (образца)	Пигмент, форма и размер частиц цинковой пыли, мкм	Пленкообразователь	Толщина покрытия, мкм
1	Пыль – отход горячего цинкования, круглая 5 - 15	Жидкое стекло (концентрированный раствор силиката калия)	100 - 130
2	Пыль – отход горячего цинкования, круглая 5 - 15	Этилсиликатный полимер	30 - 40
3	Пыль – отход горячего цинкования, круглая 5 - 15	Полиакрилат	60 - 80

Для проведения испытаний были получены электроды (20x20 мм), которые вырезались из стальной пластины (Ст3) толщиной 1,5 мм, предварительно обработанной пескоструйным аппаратом. Перед нанесением цинкнаполненной краски металлическую поверхность электрода тщательно очищали, обезжиривали, промывали и сушили на воздухе. Далее на стальные электроды (образцы) наносили цинксодержащие краски. Составы цинкнаполненных композиций, которые наносились на образцы для коррозионных испытаний приведены в таблице 1.

Для выявления защитного эффекта связующего на поверхности образца использовали капельный метод. Испытания защитных свойств методом капли проводились с применением раствора уксуснокислого свинца 50 г/дм³ (ГОСТ 9.302-88). Для этого капля раствора помещалась на поверхность образца и отмечалось время до появления сплошного темного пятна в результате диффузии ионов свинца через связующее к поверхности цинка и протекания реакции контактного выделения свинца. Для нанесения капли раствора ацетата свинца на поверхность использовали стеклянную капиллярную трубку. Все измерения проводили при одинаковой температуре. Перед проведением испытаний поверхность образцов очищали от пыли и других возможных загрязнений окунанием в 96% раствор этилового спирта, затем их сушили в эксикаторе над хлоридом кальция.

Время появления сплошного темного пятна характеризует пористость покрытия. Чем больше это время, тем меньше пористость связующего и больше его защитный эффект. Результаты пяти измерений на каждом образце. Значение среднего времени потемнения основания капли на образцах, покрытых цинксодержащим составом приведены в таблице 2. Из приведенных данных видно, что лучшие показатели по времени потемнения основания капли имели изученные образцы стали покрытые цинкнаполненным составом на основе жидкого стекла и цинковой пыли.

Таблица 2 – Средние результаты опытов

Номер образца	Среднее время потемнения основания капли, с
1	137,28
2	15,11
3	10,21

Однако проведение коррозионных испытаний образцов в статических условиях показали низкую коррозионную стойкость таких образцов (рисунок 1).

Полученные результаты, вероятно, объясняются плохой проницаемостью ионов свинца (Pb) к поверхности стали в силу образования нерастворимых соединений.

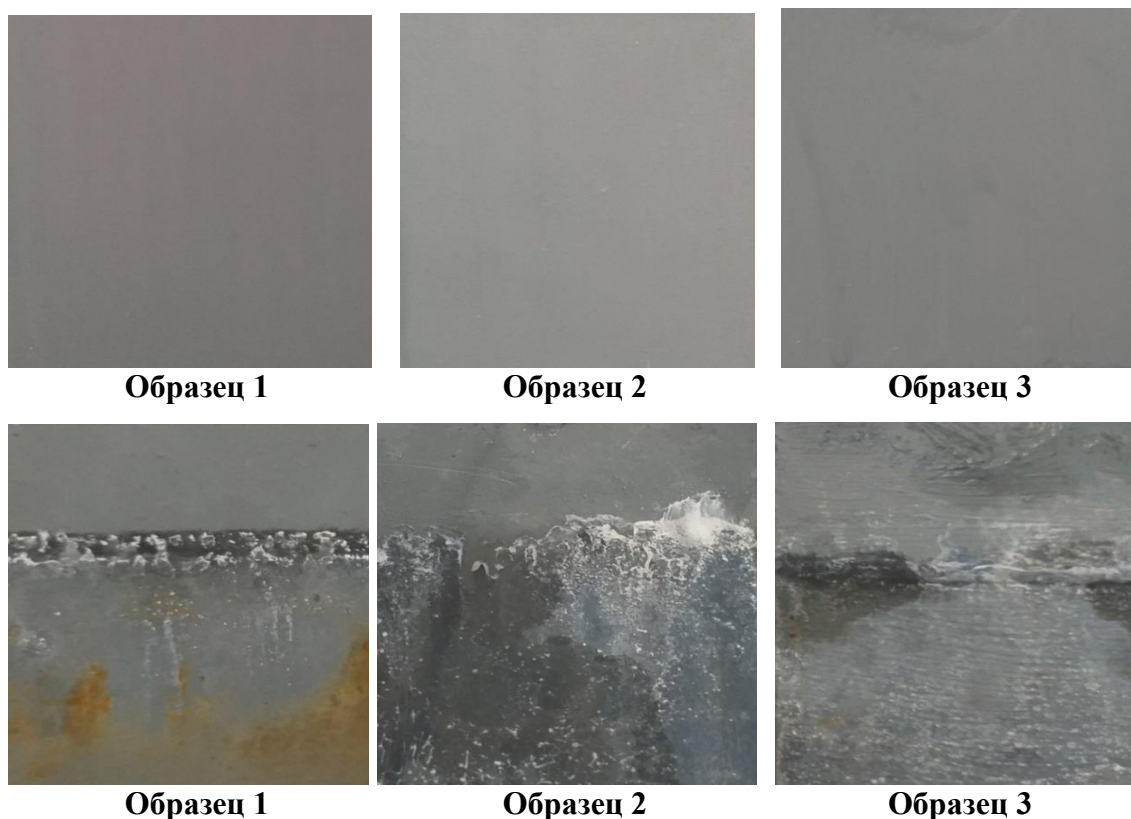


Рисунок 1 – Фотографии образцов до проведения испытаний; фотографии образцов после выдержки в 3% растворе 6 суток

Нами отмечено, что нанесенные капли раствора ацетата свинца растекались по поверхности силикатных покрытий. Поэтому в работе были определены углы смачиваемости поверхности образцов каплями дистиллированной воды. Определения проводили на приборе Гониометр ЛК – 1. Ниже на рисунке 2 приведены фотографии капель на поверхности образцов, покрытых цинксодержащими составами.

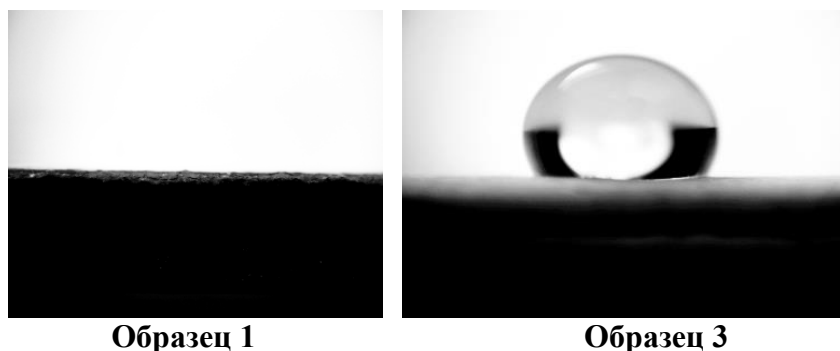


Рисунок 2 – Фотографии капля на поверхности образцов 1 и 3, покрытых цинксодержащими лакокрасочными составами

Углы смачиваемости были измерены для всех образцов с нанесенными цинксодержащими красками под номерами 1, 2, 3, а также для образцов: пф - 1 (сталь, покрытая пентафталевым лаком) и эп - 2 (сталь, покрытая эпоксидной смолой). Результаты измерений приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты измерения углов смачиваемости поверхности образцов

Образец	Угол смачивания
0.3	114,87
2	110,72
5-	106,20
0.1	0,86
7	1,84
пф-1	78,92
эп-2	72,54

Проведенные определения углов смачиваемости поверхности образцов, покрытых цинкнаполненными красками на основе силикатов показали большую гидрофильность поверхности. Капли растекались по поверхности образцов 1. В остальных случаях цинксодержащие краски показали гидрофобность поверхности. Заметную гидрофобность проявляют поверхности (пф – 1), покрытая пентафталевым лаком и (эп – 2), покрытая эпоксидной смолой. Очевидно, эти свойства поверхностей определяют время потемнения дна капли раствора ацетата свинца.

ВЫВОДЫ:

Разработаны составы цинксодержащих красок для защитных покрытий стали на основе цинковой пыли – отхода горячего цинкования. Получены цинксодержащие краски с использованием фракции цинковой пыли (3–15 мкм) и пленкообразователей (жидкое стекло, этилсиликатный и акриловый полимер) и изучены их защитные коррозионные свойства. Установлено, что цинксодержащая краска с

лучшими антикоррозионными свойствами будет обладать краска на основе связующего с высокими гидрофобными свойствами, высокими адгезионными свойствами к поверхности стали и другими важными свойствами характерными для лакокрасочных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. K. Schaefer, A Mischczyk. Improvement of electrochemical action of zinc-rich paints by addition of nanoparticulate zinc // Corrosion Science. 66 (2013) 380 – 391.
2. G. Bierwagen, L. Hea, D. Tallman, Time-temperature effects in polymer coatings for corrosion protection as analyzed by EIS, Macromolecular Symposia, Special Issue: Quo Vadis – Coatings, Prog.
3. Цинкнаполненные антикоррозионные грунтовки / А.В. Павлович, В.В. Владенков, В.Н. Изюмский // Лакокрасочная промышленность. – 2010. – №3. – с. 38-46.

УДК 66.01-52

Н.Д. Сахненко, проф., д-р техн. наук;
А.В. Каракуркчи, ст. науч. сотр., д-р техн. наук;
И.И. Степанова, доц., канд. техн. наук;
Н.Б. Маркова, ст. науч. сотр.; С.Н. Индыков, асп.
(НТУ «ХПИ», Украина, г. Харьков)

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОЛИЗА НА ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ КЭП

Формирование композиционных электролитических покрытий (КЭП) в электролитах, в состав которых входят соли и оксиды d-элементов, позволило получить гетерооксидные системы, обладающие фотокаталитическими свойствами. Все системы формировались на поверхности металлических носителей из вентильных металлов, в частности, титана. Процесс происходил в результате анодной реакции в режиме пробоя, где в зоне реакции температура процесса достигала 2000⁰С. Наличие в электролите соединений d-элементов обеспечивает повышенное содержание оксидов металлов в составе покрытия, тем самым увеличивая удельную площадь рабочей поверхности, что априори увеличивает каталитическую активность синтезированных материалов. Применение оксидных КЭП позволяет вести безреагентную очистку газовых и водных сред от токсичных реагентов.

Целью данной работы являлось формирование методом плазменно-электролитического оксидирования (ПЭО) оксидных систем на титане, модифицированных d-элементами, с последующим изучением

морфологии поверхности и фотокаталитической активности полученных покрытий.

Оксидные покрытия формировали на образцах титана ВТ1-0. Предварительная обработка образцов состояла из обезжиривания и травления образцов в смеси $\text{HF}:\text{HNO}_3$ в пропорции 1:3 с последующей промывкой дистиллированной водой. Процесс проводили в гальваностатическом режиме в одну стадию при плотности тока $4,0\text{--}10\text{ А/дм}^2$ и рабочем напряжении $100\text{--}150\text{ В}$. Время электролиза составляло $10\text{--}20$ минут. В качестве электролита использовали дифосфатные растворы с концентрацией $0,5\text{--}1,0$ моль/л с варьируемыми добавками солей меди Cu^{2+} ($0,4\text{--}0,8$ моль/л), Co^{2+} ($0,05\text{--}0,1$ моль/л) и ZnO ($0,1\text{--}0,4$ моль/л). Процесс ПЭО проводили в условиях постоянного перемешивания и охлаждения до $20\text{--}30\text{ }^\circ\text{C}$.

Фотокаталитическую активность полученных КЭП тестировали в модельной реакции разложения водного раствора азокрасителя метилового оранжевого (МО) при ультрафиолетовом облучении (УФ). Для оценки влияния последующей термообработки на стабильность фотокаталитических характеристик полученных покрытий, образцы отжигали в муфельной печи на воздухе при $500\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 30 минут. После отжига образцы выдерживали в печи до полного остывания.

Для оценки морфологии поверхности использовали сканирующий электронный микроскоп ZEISS EVO 40XVP. Фазовый состав покрытий определяли рентгеновском дифрактометром ДРОН-2.

В результате проведенных исследований КЭП были получены образцы с варьированным составом оксидных матриц на титановой основе. Согласно данным рентгенофазного анализа, полученные металл-оксидные покрытия состоят из аморфной матрицы с включением кристаллических фаз оксидов переменного состава: CuO , Cu_2O , ZnO , CoO , Co_2O_3 . Было установлено наличие зависимости фотокаталитических свойств от режима электролиза и состава электролита. Так, двухкомпонентные оксидные матрицы – TiO_2/CuO и TiO_2/CoO имеют достаточно равномерную морфологию поверхности и высокую адгезию к подложке. В случае формирования трехкомпонентной оксидной системы морфология поверхности изменяется и приобретает мезоглобулярный характер.

Сопоставление фотокаталитической активности образцов в реакциях разложения азокрасителя МО показало, что наибольший показатель был зафиксирован в трехкомпонентной системе $\text{TiO}_2/\text{CuO}/\text{ZnO}$, где степень фотодеструкции МО составила 25% за 50 минут. Для двухкомпонентных КЭП – TiO_2/CuO и TiO_2/CoO степень фотодеструкции МО была ниже и составляла 19,8% и 20,87% соответ-

ственно (рисунок 1).

Последующая температурная обработка ($T = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течении 30 минут) не оказала значительного влияния на фотокаталитическую активность синтезированных систем. Тем не менее, позитивное влияние термообработки проявилось в увеличении ресурса активности металлооксидных систем, который возрос в 2 раза для TiO_2/CuO и TiO_2/CoO , а для $\text{TiO}/\text{CuO}/\text{ZnO}$ – в 4 раза, при этом степень фотодеструкции МО практически оставалась без изменения.

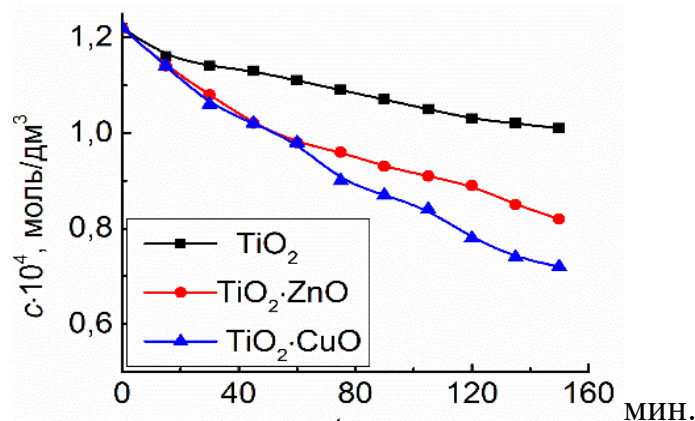


Рисунок 1 – Фотодеструкция МО на различных КЭП

Таким образом, полученные методом плазменно-электролитического оксидирования композиционные покрытия на титане из пирофосфатных электролитов обладают развитой поверхностью, высокой адгезией и фотокаталитической активностью, которые напрямую зависят от режимов электролиза и состава электролита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Karakurkchi, H.V., Sakhnenko, M.D., Ved, M.V., Zubanova S.I., Stepanova I.I. Corrosion and Physicomechanical Properties of the Coatings on AK12M2MgN Alloy Formed by Plasma-Electrolytic Oxidation // Mater Sci. 2020. 55, p. 693–702.

2. Сахненко. Н.Д., Ведь М.В., Каракуркчи А.В. Морфология и свойства покрытий, полученных плазменно-электролитическим оксидированием сплавов титана в пирофосфатных электролитах // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2017. Т.53, №6, с.1-9.

3. Ульянкина А.А. Сравнительное исследование фотоактивности оксида цинка и диоксида титана, полученных в условиях нестационарного электролиза. Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2019. Т.1. С.100–104.

4. Васильева М.С., Тимошенко И.П., Руднев В.С. Формирование, состав и каталитические свойства Zr-содержащих оксидных слоев на титане, модифицированном церием, марганцем, никелем и медью. Сборник материалов. IV Международная конференция по химии и

химической технологии. Ереван 2015. С. 25-31.

5. Karakurkchi A.V., Sakhnenko M.D., Ved' M.V., Gorokhivskiy A.S., Bohdanova K.B., Stepanova I.I. Morphology and structure of ceramic-like PEO-coatings on Al alloys. In book: Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry. Kyiv: KNUTD, 2019, с.210-225.

УДК 536.48+621.35

А.П. Поспелов, доц., канд. техн. наук
(НТУ «ХПИ», Украина, г. Харьков);

В.И. Белан, ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук
(ФТИНТ им. Б.И. Веркина НАНУ, Украина, г. Харьков);

Н.Д. Сахненко, проф., д-р техн. наук
(НТУ «ХПИ», Украина, г. Харьков);

А.О. Герус, мл. науч. сотр.;

Г.В. Камарчук, проф., д-р физ.-мат. наук
(ФТИНТ им. Б.И. Веркина НАНУ, Украина, г. Харьков)

ИНДЕКС УСТОЙЧИВОСТИ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ НАНОСТРУКТУРНЫХ СИСТЕМАХ

Электрохимический эффект точечно-контактной коммутации [1] лежит в основе работы квантового точечно-контактного сенсора. Этот эффект проявляется в виде самопроизвольных циклических колебаний сопротивления помещенной в электрическое поле системы, которая содержит наноструктурный элемент – дендритный точечный контакт Янсона [2]. Дендритный точечный контакт возникает в двух-электродной электрохимической ячейке в момент соприкосновения вершины растущего на катоде дендрита с поверхностью противоэлектрода. Колебания сопротивления системы имеют также электрохимическую природу. Низкое сопротивление отмечается при наличии прямой проводимости в системе, т.е. при наличии точечного контакта, канал проводимости которого электрически соединяет оба электрода. Дальнейшая экспозиция точечного контакта в электрическом поле приводит к его разрушению и прерыванию прямой проводимости. При этом сопротивление системы резко возрастает. Прерывание прямой проводимости происходит вследствие работы бесцелевой электродной системы [3], т.е. за счет анодного растворения металла канала проводимости. Поскольку кинетика электродных процессов в значительной мере определяется составом электролита, автоколебательный процесс точечно-контактной коммутации можно использовать для создания на его основе точечно-контактного сенсорного элемента.

Непосредственной выходной характеристикой этого элемента можно считать хронорезистограмму – зависимость сопротивления системы от времени ее экспозиции в среде определенного состава. Опыт показывает, что автоколебательный процесс достаточно легко запускается в гальваностатическом режиме при токе 10 – 20 мкА. Непрерывный цикл автоколебаний может длиться 60 и более минут. За этот период возникает несколько тысяч точечных контактов Янсона. Распределение вероятностей возникновения сопротивлений в колебательном цикле, называемое гистограммой проводимости, однозначно характеризует качественный и количественный состав исследуемой среды.

Релевантность гистограммы проводимости во многом определяется качеством полученной хронорезистограммы. В свою очередь, это качество зависит от степени устойчивости автоколебательного процесса. Такая связь обусловлена тем, что торможения этого процесса вызваны переходом системы в далекое неравновесное состояние, что сопровождается ее существенными качественными трансформациями. Гистограмму проводимости, полученную в таком режиме, некорректно рассматривать как адекватную характеристику исследуемой среды.

С целью контроля качества массивов первичных данных предложен специальный параметр – *индекс устойчивости автоколебательного процесса*. Очевидно, идеальная характеристика представляет собой прямую, выходящую из начала координат, и проходящую через точку, соответствующую окончанию автоколебательного цикла. В соответствии с этим, искомый индекс определяется как

$$\alpha = \frac{2 \int_0^{\tau_{\max}} N(\tau) d\tau}{N_{\max} \tau_{\max}},$$

где $N(\tau)$ – количество точечных контактов, возникших к моменту времени τ ; N_{\max} – общее количество точечных контактов, возникших за период τ_{\max} автоколебательного цикла. Принцип синтеза параметра α базируется на сравнении площадей под идеальной и экспериментальной зависимостями «количество точечных контактов – время экспозиции» (рисунок).

Опыт показывает, что автоколебательные циклы с индексом α менее 1,2 адекватно характеризуют энергетический профиль среды, окружающей точечно-контактную систему. Таким образом, при анализе состава окружающей среды массив 2 нельзя рассматривать как репрезентативную характеристику.

Представленный материал свидетельствует о том, что индекс устойчивости автоколебательного процесса можно рассматривать как

эффективный критерий релевантности выходной характеристики квантового точно-контактного сенсора.

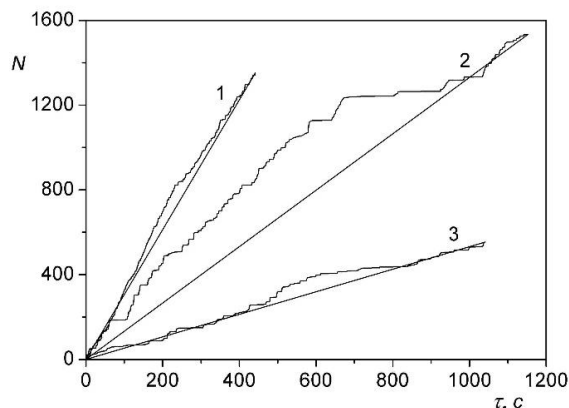


Рис. Зависимость количества N точечных контактов от времени τ экспозиции точно-контактной системы в электрическом поле. Ломаные кривые – экспериментальные зависимости. Прямые линии – идеальные характеристики. Индексы устойчивости массивов: 1 – 1,053; 2 – 1,222; 3 – 1,067.

ЛИТЕРАТУРА

1. G.V. Kamarchuk, A.P. Pospelov, A.V. Savytskyi, A.O. Herus, Yu.S. Doronin, V.L. Vakula, E. Faulques, Conductance quantization as a new selective sensing mechanism in dendritic point contacts, *SN Applied Sciences*, 1:244 (2019).

2. A.P. Pospelov, G.V. Kamarchuk, A.O. Herus, N.D. Sakhnenko, M. Ved, V.L. Vakula, Activation mechanism of the cyclic switchover effect for quantum selective detection with dendritic Yanson point contacts. In: "Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces, and Their Applications (Springer Proceedings in Physics book series)", 246, 627-639, 2021.

3. A.P. Pospelov, A.I. Pilipenko, G.V. Kamarchuk, V.V. Fisun, I.K. Yanson, and E. Faulques, A New Method for Controlling the Quantized Growth of Dendritic Nanoscale Point Contacts via Switchover and Shell Effects, *J. Phys. Chem. C*, 119 (2015) 632-639.

И.А. Черник, асп.;
И.И. Курило, канд. хим. наук, зав. кафедрой ФКиАХ;
А.А Черник канд. хим. наук, зав. кафедрой Х,ТЭХПиМЭТ
(БГТУ, г. Минск)

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СПЛАВА НИКЕЛЬ-ЖЕЛЕЗО

Электрохимические покрытия «чистыми» металлами не всегда обладают совокупностью заданных эксплуатационных свойств. Наряду с требованиями, предъявляемыми к покрытиям в традиционной гальванотехнике (твердость, пластичность, коррозионная стойкость и др.), в функциональной гальваностегии добавляются требования к таким свойствам, как переходное сопротивление, электропроводность, магнитные свойства и другие. Применение электрохимических сплавов для этих целей представляется перспективным. В настоящее время известно более двухсот сплавов, которые могут быть осаждены электролитическим способом.

Никелевые покрытия применяются в машиностроении, приборостроении, автомобилестроении, а также в ряде других отраслей промышленности. Такое широкое распространение никеля в гальванотехнике объясняется, прежде всего, физико-механическими свойствами данного металла. Наряду с моно никелевыми покрытиями находят применение и покрытия сплавами никеля. В настоящее время известно свыше 3000 никелевых сплавов, применяемых в технике, быту, ювелирном деле. Сплавы Fe-Ni нашли свое применение в электронной промышленности, для записи и хранения информации в компьютерах и других областях техники благодаря своим ценным магнитным свойствам. Кроме того, представляется актуальным применение данного сплава в качестве замены никелевых гальванических покрытий и никелевой основы при получении композиционных электрохимических покрытий

Осаждение этих сплавов наиболее целесообразно проводить в импульсном режиме. При этом, варьируя длительность, амплитуду и полярность импульсов, можно регулировать не только выход по току и состав сплава, но и кристаллическую структуру и плотность покрытия.

В данной работе исследуется осаждение покрытий Fe-Ni в импульсном и стационарном режимах. Для получения сплава Fe-Ni использовался электролит, содержащий, г/дм³: FeSO₄ · 7H₂O – 100–300, NiCl₂ - 30–120, лимонная кислота – 5–25. Температура - 70⁰C, pH – 3.

Проведены исследования по изучению влияния импульсного режима электролиза на качество получаемых покрытий. Определено влияние параметров нестационарного электролиза на твердость и блеск покрытий. Амплитуда плотности тока в импульсе варьировалась от 10 до 70 А /дм², длительности катодного импульса от 2 до 100 мс, длительность паузы от 2 до 100 мс. Толщина покрытия – 20 мкм.

Установлено, что в исследованном электролите возможно получать качественные, блестящие покрытия сплавом железо-никель с различным содержанием компонентов в сплаве, варьируя технологические параметры. Показано, что с ростом катодного тока наблюдается ухудшение качества покрытия и уменьшение блеска. Аналогичные результаты наблюдаются с увеличением времени паузы. При этом содержание железа в сплаве растет при увеличении плотности тока в импульсе. Наибольший выход по току (81,8%) наблюдался при плотности тока 10 А/дм², длительности катодного импульса 50 мс и времени паузы 5 мс. Дальнейшее увеличение времени паузы ведет к снижению выхода по току до 73,8%. Зеркально-блестящие покрытия получают при плотности тока 5 А/дм² и времени паузы 1 мс.

Анализ полученных данных позволяет проследить динамику осаждения сплава железо-никель методом импульсного режима. С увеличением длительности катодного импульса увеличивается скорость образования кристаллических зародышей и скорость роста кристаллов. В зависимости от длительности паузы происходит полное или частичное выравнивание концентрации катионов в катодите. Внешний вид полученных покрытий позволяет сделать вывод о том, что с увеличением катодного импульса наблюдается улучшение качества покрытия и увеличение его блеска.

Таким образом, изменяя время импульса, можно регулировать содержание никеля в сплаве в широком интервале. При этом импульсный режим позволяет обеспечить высокую адгезию покрытия к подложке.

УДК 666.3:631.811

О.С. Залыгина, доц., канд. техн. наук; Ю.Д. Бутор, студ.
(БГТУ, г. Минск)**ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ СКОПА**

Скоп – это осадок сточных вод при производстве бумаги и картона. Он состоит из целлюлозных волокон, глины, различных органических и неорганических примесей. В настоящее время скоп является наиболее крупнотоннажным отходом целлюлозно-бумажного производства.

Согласно классификатору отходов, образующихся в Республике Беларусь [1], скоп (код 1841000) относится к группе VII «Отходы целлюлозы, бумаги, картона» и имеет четвертый класс опасности. Влажность скопа составляет около 65%, зольность – около 35%. Состав скопа бумажной фабрики «Красная Звезда» представлен в таблице.

Таблица – Состав скопа

Наименование компонента отходов	Концентрация С, мг/кг	Индекс токсичности К
Соединения железа в пересчете на железо	415	0,070
Соединения никеля в пересчете на никель	5	0,029
Соединения цинка в пересчете на цинк	63	0,023
Соединения меди в пересчете на медь	18	0,018
Соединения хрома в пересчете на хром (III)	5	0,014
Соединения марганца в пересчете на марганец	12	0,009
Соединения кобальта в пересчете на кобальт	2	0,005
Соединения свинца в пересчете на свинец	1	0,005
Соединения магния в пересчете на магний	454	0,022
Соединения алюминия в пересчете на алюминий	5168	4,012
Соединения кальция в пересчете на кальций	4068	0,500
Нефтепродукты	1131	0,730
Ионы аммония	12	0,001
Сульфат-ионы	3583	0,099
Фосфат-ионы	136	0,005
Хлорид-ионы	70277	0,970
Анионактивные СПАВ	21	0,002
Неионогенные СПАВ	34	0,002

В настоящее время на бумажной фабрике «Красная Звезда» образуется 8500 т скопа в год. Его вывозят на полигон города Чашники для захоронения, где он разлагается под действием гнилостных бактерий в течении 1-2 лет, что приводит к отчуждению земель и их химико-механическому загрязнению. Отвалы занимают большие площади, зачастую пригодные для земледелия, загрязняют прилегающие участки химически агрессивными стоками. Кроме того, происходит потеря

ценных компонентов, применяемых при производстве целлюлозно-бумажных изделий.

Анализ литературы позволяет выделить следующие направления обращения со скопом: рециркуляция скопа в технологический процесс по производству бумаги и картона; сжигание скопа; его биокомпостирование; производства сорбентов; использование в производстве стройматериалов [2, 3].

На основе литературных данных была установлена потенциальная возможность рециркуляции скопа в технологическом процессе производства бумаги. Однако, количество скопа в композиции не должно превышать 10 мас.%, поскольку в противном случае ухудшается качество производимой бумаги.

Сжигание скопа позволяет получать тепловую энергию, однако при этом наблюдается вторичное загрязнение окружающей среды выбросами и отходами горения.

Поскольку скоп в основном содержит органические компоненты, он потенциально может быть переработан путем полевого компостирования в буртах. В результате того, что скоп содержит небольшое количество биогенных компонентов, рекомендуется его компостирование в смеси с биоразлагаемыми отходами, например, кородревесными отходами, образующимися в ходе окорки древесины на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности. Кородревесные отходы содержат гумус, лигнин, обладают высокой пористостью и влагоемкостью, также высоким содержанием органических веществ. Также в составе кородревесных отходов содержится азот, который служит источником питания для растений. Кроме того, процесс может быть интенсифицирован путем внесением минеральных и органических удобрений.

Внедрение биокомпостирования скопа позволит не только снизить количество скопа, отправляемого на захоронение, но и позволит получать продукт, который может использоваться в качестве удобрения, почвоулучшающей добавки, для рекультивации нарушенных земель, в благоустройстве территории и зеленом строительстве.

Поскольку скоп обладает сорбционными свойствами, возможно его использование для производства сорбционных материалов. Для придания сорбенту антибактериальных свойств и снижения горючести рекомендуется использовать различные добавки (например, буру, антипирен и др.).

Кроме того, широко известны технологии применения скопа в производстве строительных материалов. Скоп может быть использован как добавка в производстве вспученных обожженных глиняных

заполнителей – керамзита и аглопорита. Известна технология производства теплоизоляционного материала, при которой, скоп использовали в двух вариантах: как наполнитель в теплоизоляционном материале на основе минерального вяжущего и как самостоятельное вяжущее вещество с наполнителем в виде зернистых пористых материалов – вспученный пенополистирол в гранулах. Скуп может быть использован как компонент бетонной смеси, повышающий ее удобоукладываемость; в качестве выгорающей добавки в производстве керамического кирпича, при получении сухой гипсовой штукатурки, в качестве добавки к смеси для изоляционных плит, в производстве строительных блоков и отделочных материалов. Преимуществом использования скупа в производстве строительных материалов является экономия первичных ресурсов.

На основании выполненных теоретических исследований, с учетом экологических, экономических и технологических критериев было установлено, что наиболее рациональным направлением по обращению со скупом является его использование в производстве строительных материалов, так как при его сжигании происходит вторичное загрязнение атмосферного воздуха и образование вторичного отхода (золы), использование скупа для производства сорбентов требует его предварительной подготовки, а также позволяет утилизировать лишь незначительную часть образующегося скупа, биокомпостирование скупа затруднено из-за наличия в скупке волокнистого материала.

ЛИТЕРАТУРА

1 Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь: утвержден Постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды №3-Т от 09.09.2019. – 88 с.

2 В.А. Житнюк и др. Исследование возможности рециркуляции скупа в технологическом процессе картонно-бумажного производства// Вестник ПНИПУ – №4. – 2015. – С. 138-148.

3 Баталин Б.С., Козлов И.А. Утилизация скупа ООО «Пермский картон» // Экология и промышленность России. – 2009. – №6 – С. 20-22.

НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕМЛИ ФОРМОВОЧНОЙ ГОРЕЛОЙ

Литье является самым универсальным способом получения заготовок для деталей машин. Литьем можно получать отливки массой от нескольких граммов до 600 тонн и более. Методом литья получают отливки из чугуна и стали, цветных сплавов на основе алюминия, меди, цинка, олова, также из тугоплавких металлов и сплавов.

Основным отходом литейного производства является земля формовочная горелая, которая по физико-механическим свойствам приближается к рыхлой горной породе и образуется в результате применения способа литья в песчаные формы. В состав земли формовочной горелой входит кварцевый песок (92 мас.%), глина (5 мас.%) и различные примеси, среди которых больше всего железа (до 2 мас.%). Норматив образования отхода составляет 783 кг на тонну стального литья. Существующие в настоящее время направления использования земли формовочной горелой представлены на рисунке 1.



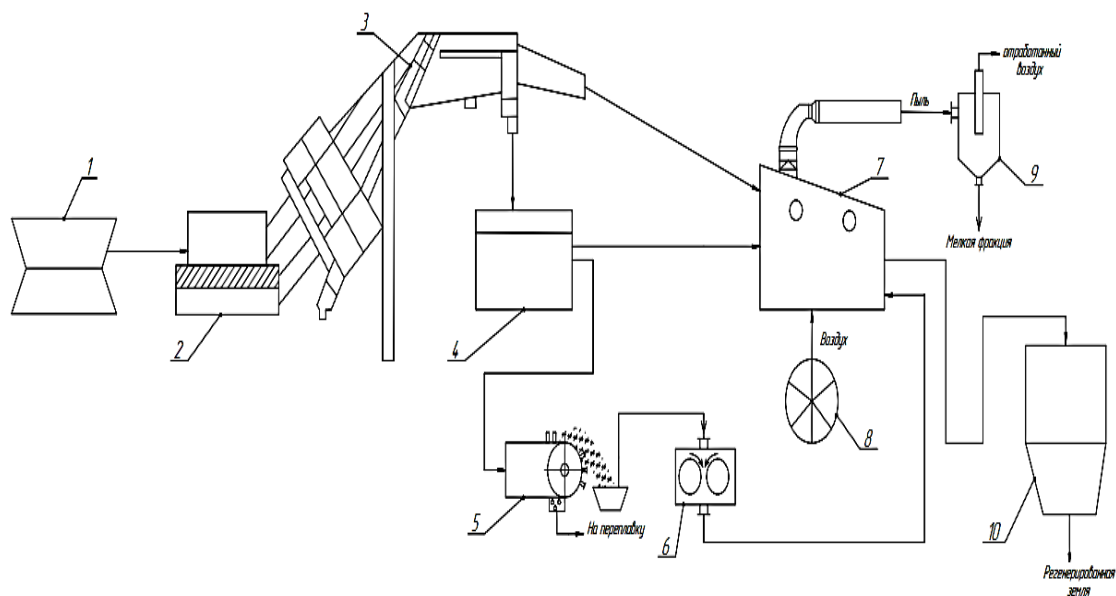
Рисунок 1 – Существующие направления использования земли горелой формовочной

Как правило, на большинстве предприятий, имеющих литейное

производство, осуществляют регенерацию земли горелой формовочной с ее возвратом в технологический процесс для изготовления литейных форм. К числу основных операций процесса регенерации отработанной формовочной земли относят: дробление комьев смеси, отделение металлических включений, отсеивание спекшихся комочков смеси, отделение инертных наслоений с поверхности зерен песка, удаление пылеобразных веществ и охлаждение полученного продукта до температуры окружающей среды. Основные операции процесса регенерации осуществляются как в воздушной, так и в водной среде. Помимо основных, в процессе регенерации отработанных смесей осуществляются также и побочные операции, в частности, осветление сточных вод и сгущение шлама.

Наиболее простым и экономически целесообразным способом регенерации земли формовочной горелой является ее механическая регенерация.

При механической регенерации происходит удаление плёнок связующего от кварцевых песчинок за счёт механического перетирания смеси. Плёнки связующего разрушаются с образованием пыли, удаляемой системами пылеотсоса. Технологическая схема механической регенерации земли горелой формовочной представлена на рисунке 2.



1 – форма; 2 – выбивная решетка; 3 – виброэлеватор; 4 – накопитель;
5 – магнитный сепаратор; 6 – валковая дробилка; 7 – охладитель; 8 – вентилятор;
9 – газоочистное оборудование; 10 – бункер - накопитель

Рисунок 2 – Технологическая схема механической регенерации горелой земли

Формы 1 из литейного цеха поступают на встроенную выбивную решетку 2. Под действием вибрации форма разрушается, а отливка извлекается и направляется на дальнейшую обработку. Горелая земля, образующаяся при разрушении отливки, поступает на виброэлеватор 3 с экраном из мелкой сетки, где происходит отделение песка от крупной фракции. Крупная фракция высыпается в накопитель 4, после чего направляется на магнитный сепаратор 5 для удаления металла и валковую дробилку 6 для измельчения крупной фракции песка. Удаленные металлические включения отправляются на переплавку. Далее песок и измельченная крупная фракция направляются в охладитель 7. Также в емкость охладителя с помощью вентилятора, подается воздух для удаления мелкой фракции (пыли), которая поступает на газоочистное оборудование 9 и составляет 20% от количества горелой земли.

После охлаждения горелая земля подается в бункер-накопитель 10 восстановленной горелой земли.

Таким образом можно регенерировать 80% земли формовочной горелой, 20% составляет мелкая фракция, которую можно использовать в производстве силикатных стройматериалов.

Использование горелой формовочной земли в строительной отрасли может не только устранить проблемы, связанные с управлением отходами и воздействием на окружающую среду, но и существенно ускорить деятельность по устойчивому развитию за счет сокращения потребления природных ресурсов.

В работе была исследована возможность использования мелкой фракции земли формовочной горелой, которая остается после механической регенерации этого отхода, в производстве керамического кирпича. Опытные образцы изготавливались из глины Гайдуковского месторождения при замене песка, играющего роль отошающей добавки, на мелкую фракцию отработанной горелой земли. Содержание отхода в опытных образцах составляло от 5 до 20 мас.%. Образцы изготавливались методом пластического формования с последующей сушкой в естественных условиях и обжигом при 1000°C.

Исследование свойств полученных образцов свидетельствует, что они в соответствии с ГОСТ 530-2012 соответствуют марке керамического кирпича М400.

Таким образом земля формовочная горелая, образующаяся в литейном производстве может рассматриваться как вторичное сырье. Большая ее часть (до 80%) может подвергаться регенерации и возвращаться в техпроцесс, остальная – использоваться в производстве керамического кирпича.

О.С. Залыгина, доц., канд. техн. наук;
В.И. Чепрасова, ст. науч. сотр., канд. техн. наук;
О.Д. Беяева, студ. (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПИГМЕНТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ОТРАБОТАННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ХРОМИРОВАНИЯ

Отработанные электролиты хромирования (ОЭХ) относятся к жидким отходам гальванического производства. Высокая концентрация в них ионов хрома, обладающих хромофорными свойствами, позволила предположить возможность их использования для получения пигментов.

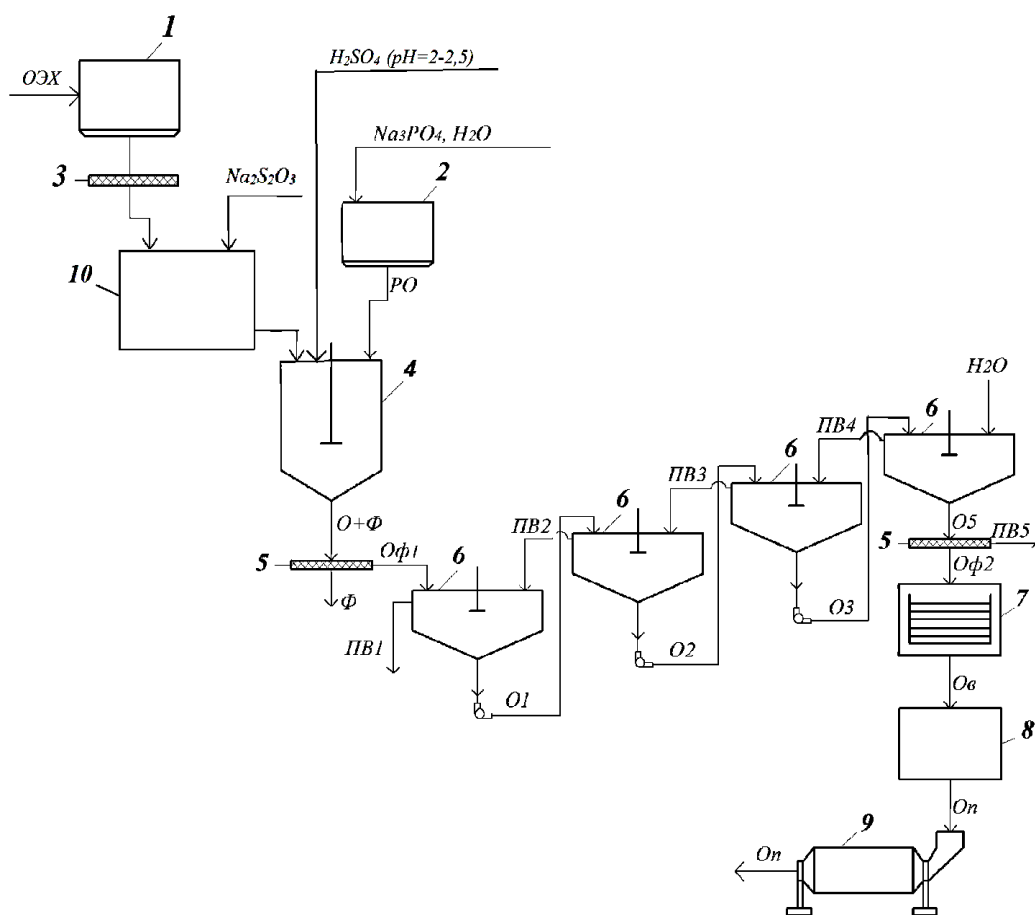
На основе проведения экспериментальных исследований была предложена технологическая схема переработки отработанных электролитов хромирования с получением пигмента, которая включает в себя такие основные стадии, как восстановление хрома (VI) до хрома (III), осаждение хрома фосфатом натрия, разделение твердой и жидкой фаз, отмывка от водорастворимых соединений, сушка, обжиг и измельчение полученного материала. Технологическая схема представлена на рисунке 1.

Из приемной емкости 1, в которой осуществляется накопление и усреднение состава отработанных электролитов хромирования, ОЭХ поступает на фильтр 3, далее в реактор восстановления 10.

В реакторе 10 при постоянном перемешивании подается 10-% раствор $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, с дозировкой в соответствии от содержания шестивалентного хрома и постоянном подкислении и поддержании $\text{pH}=2-2,5$. Восстановленный ОЭХ поступает в реактор осаждения 4. В реактор 4 при постоянном перемешивании подается насыщенный раствор фосфата натрия из емкости 2.

Из реактора полученная суспензия поступает на фильтр 5, где происходит отделение осадка от фильтрата. Далее полученный осадок поступает на противоточную четырехступенчатую промывку в ступителях 6. Жидкая фаза после отделения от нее осадка поступает на совместную очистку с промывными сточными водами гальванического производства на существующие очистные сооружения.

Обезвоженный осадок поступает на сушку в сушильную камеру 7 при температуре $80\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 5 часов. Далее материал поступает на термическую обработку в печь 8 при температуре $920\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 1 часа. После обжига материал поступает на диспергирование в шаровую мельницу 9.

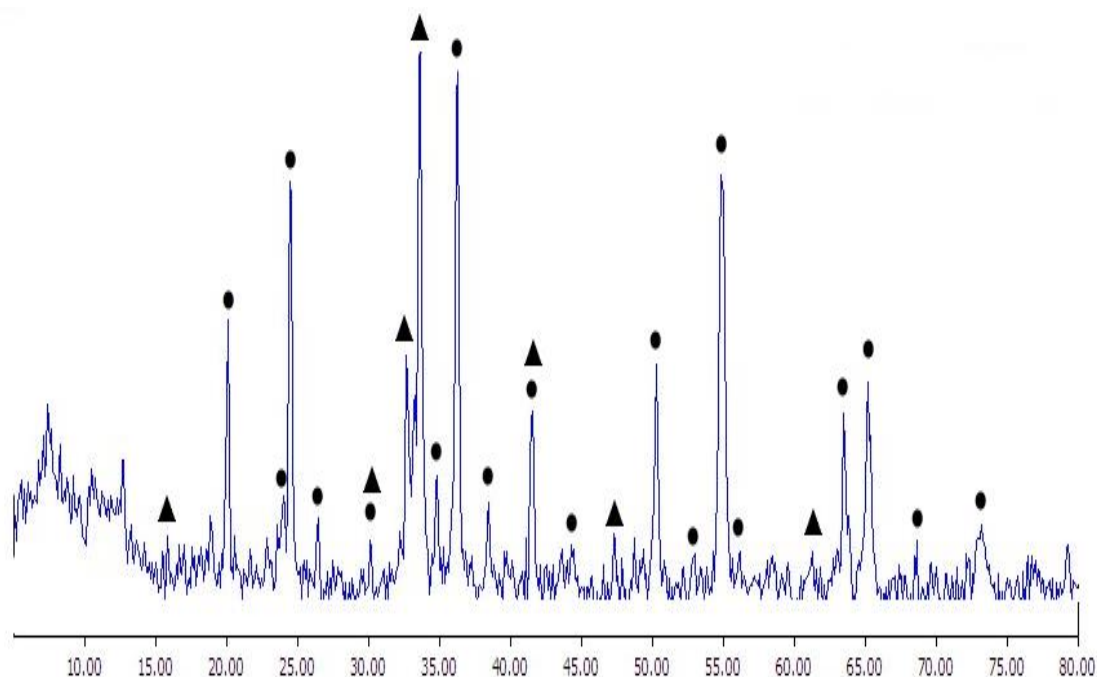


- 1 – приемная емкость отработанного электролита хромирования; 2 – расходная емкость раствора осадителя; 3 – фильтр; 4 – реактор осаждения; 5 – вакуум-фильтр; 6 – сгуститель 1–4 стадии промывки; 7 – сушильная камера; 8 – электрическая печь; 9 – шаровая мельница; 10 – реактор восстановления ОЭХ; РО – раствор осадителя; Φ – фильтрат; О₁–О₄ – осадок после 1–4 ступени промывки; ПВ₁–ПВ₄ – промывная вода на 1–4 ступени промывки; О_{φ1} – осадок после фильтрования до промывки; О_{φ1} – промытый осадок после фильтрования; О_в – высушенный осадок; О_п – прокаленный осадок

Рисунок 1 – Технологическая схема получения пигмента из отработанного электролита хромирования

Как показывает рентгенофазовый анализ, образцы, полученные после высушивания, являются рентгеноаморфными. Согласно литературным данным состав данного образца скорее всего представлен гидратом фосфата хрома $\text{CrPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Рентгенофазовый анализ образцов, полученных после термообработки, свидетельствует об образовании смеси α- и β-модификаций безводного фосфата хрома CrPO_4 (рисунок 2).



▲ – β-модификация безводного фосфата хрома CrPO_4 ; ● – α-модификация безводного фосфата хрома CrPO_4

Рисунок 2 – Рентгенограммы образцов осадка, полученного из ОЭХ, после термообработки при температуре 920 °С

Для подтверждения возможности использования полученного осадка в качестве пигмента были определены его свойства: укрывистость, маслосмолность, рН водной суспензии и цветность, которые представлены в таблице.

Таблица – Свойства полученных пигментов

Состав пигмента	Маслосмолность, г/100 г	Укрывистость, г/м ²	рН водной суспензии	Цвет
$\text{CrPO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	62	72	6,5	$a^* = -18,11$; $b^* = 24,55$ $L^* = 87,25$. Зеленый
CrPO_4	47	66	6,5	$a^* = -16,15$; $b^* = 20,38$ $L^* = 88,32$. Зеленый
CrPO_4 используемый в производстве	64	72	6,5	Зеленый

Свойства полученных образцов соответствуют свойствам пигментов, используемых промышленностью. Таким образом, отработанные электролиты хромирования могут использоваться как вторичное сырье для получения зеленых пигментов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

Ухудшение качества природных вод является одной из экологических проблем современности. Это обусловлено совокупностью факторов. С одной стороны, наблюдается повсеместное усиление негативного воздействия на все компоненты окружающей среды, что с учетом взаимосвязанных процессов и явлений, протекающих в природе, вызывает снижение качества природных вод. С другой стороны, увеличение численности населения на планете, а также появление новых технологических процессов вызывает рост водопотребления для удовлетворения хозяйственно-питьевых и производственных нужд. Последнее приводит к сбросу недостаточно очищенных сточных вод в природные водоемы. Так, согласно данным статистической отчетности в 2019 году в Республике Беларусь сброшено 1 142,8 млн. м³ сточных вод, из которых 1 019,3 млн. м³ в поверхностные водные объекты [1]. Со сточными водами в экосистемы поступило значительное количество загрязняющих веществ. Качество сбрасываемых в поверхностные водоемы стоков можно охарактеризовать следующими показателями: БПК₅ – 12 тыс. т, минерализация – 509 тыс. т, сульфат-ион – 63 тыс. т, хлорид-ион – 92 тыс. т, аммоний-ион – 4 тыс. т, взвешенные вещества – 15 тыс. т, синтетические поверхностно-активные вещества – 88 тыс. т, железо общее – 226 т, цинк – 22 т, хром общий – 3 т, медь – 3 т, свинец – 0,1 т [1].

Для снижения поступления загрязняющих веществ в природные объекты сточные воды подвергают очистке, используя механические, химические, физико-химические, биологические, термические методы очистки [2]. Каждая группа методов позволяет извлекать из стоков определенный вид загрязняющих веществ. В качестве аппаратов для удаления из сточных вод взвешенных веществ широко используются фильтры с зернистой перегородкой.

Фильтры с зернистой перегородкой представляют собой колонну, в нижней части, которой имеется дренажное устройство для отвода воды. На дренаж укладывается слой поддерживающей загрузки, а затем фильтрующий материал. В качестве зернистой фильтрующей перегородки используют кварцевый песок, гальку, шлак, дробленые горные породы, резиновую крошку и др. Выбор фильтрующего мате-

риала зависит от его термической и химической стойкости, механической прочности и доступности.

Цель работы – определение возможности использования отхода производства (золу и шлак топочных установок) в качестве фильтрующего материала в фильтрах с зернистой перегородкой.

Исследования проводили на модельных сточных водах – аналог промывных стоков, образующихся при производстве строительных материалов. Исходная концентрация взвешенных веществ в сточных водах составляла 3 г/дм³. Данные сточные воды готовили с использованием дистиллированной воды и глины.

В качестве одного из компонентов фильтрующей загрузки в работе использовали отход производства «Зола и шлак топочных установок», код отхода – 3130200, который согласно классификатора отходов, образующихся в Республике Беларусь [3], имеет третий класс опасности.

Исследования проводили на экспериментальной установке – модели многослойного фильтра с зернистой перегородкой. В качестве фильтрующего материала использовали как классические виды загрузки (кварцевый песок различных фракций), так и отход производства (золу и шлак топочных установок, образующийся на одном из предприятий Республики Беларусь).

Корпус фильтра представлял собой стеклянную колонну с внутренним диаметром 40 мм. На поддерживающий слой укладывали золу и шлак топочных установок с размером частиц 1–2 мм (высота слоя 1,5 см), кварцевый песок с размером частиц 2,5–7 мм (высота слоя 3,0 см), кварцевый песок с размером частиц 7–10 мм (высота слоя 1,5 см). Верхние слои фильтрующего материала включали зерна загрузки большего размера.

Для отмывки частиц фильтрующей загрузки от примесей через фильтр пропускали дистиллированную воду объемом 300 см³. Далее через многослойный фильтр пропускали сточную воду. Отбирали каждые 25 см³ фильтрата и измеряли в нем оптическую плотность. Также фиксировали время прохождения каждой порции фильтрата. Эффективность очистки сточных вод оценивали по изменению оптической плотности сточной и очищенной воды. Результаты исследований представлены в таблице.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что при использовании в качестве оборудования для очистки сточных вод фильтра с многослойной зернистой перегородкой происходит глубокая очистка стоков. Практически сразу (в первой порции фильтрата) фиксируется высокая степень очистки – 99,37%. При дальнейшем пропус-

кании сточных вод через фильтр наблюдается незначительное увеличение степени очистки стоков до 99,53%, что обусловлено накоплением взвешенных веществ в порах фильтровальной перегородки. Последнее вызывает существенное снижение скорости фильтрования сточных вод через слой зернистой загрузки с 1,25 м³/ч до 0,06 м³/ч.

Таблица – Эффективность очистки сточных вод с использованием фильтра с зернистой перегородкой

Номер порции фильтрата	Объем сточных вод, прошедших через фильтр, см ³	Скорость фильтрования, м ³ /ч	Степень очистки, %
1	25	1,25	99,37
2	50	1,25	99,37
3	75	1,15	99,45
4	100	0,60	99,45
5	125	0,47	99,45
6	150	0,26	99,45
7	175	0,09	99,45
8	200	0,07	99,53
9	225	0,07	99,53
10	250	0,06	99,53
11	300	0,06	99,53

Результаты исследований свидетельствуют о возможности использования в качестве материала для создания одного из слоев фильтрующей загрузки в зернистом фильтре отхода производства – золу и шлак топочных установок. Применение данного отхода позволит вовлечь в хозяйственный оборот отход производства.

ЛИТЕРАТУРА

1 Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический сборник. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2020. – 203 с.

2 Родионов, А.И. Технологические процессы экологической безопасности. Гидросфера: учебник для академического бакалавриата / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, В.Г. Систер. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 283 с.

3 Об утверждении, введении в действие общегосударственного классификатора Республики Беларусь: постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 9 сент. 2019 г., № 3-Т [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21934631p&p1=1>. (Дата доступа: 04.01.2022).

ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ФИТОТОКСИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

Сегодня, как никогда остро, перед обществом стоит проблема загрязнения окружающей среды. Она обусловлена накоплением во всех компонентах среды, растениях и животных загрязняющих веществ, поступивших с выбросами в атмосферный воздух, сточными водами, сбрасываемыми в природные водные объекты, отходами. Каждый из указанных источников вносит свой вклад в загрязнение природы. Увеличение численности населения на планете и рост мирового производства привели к засорению земной и водной поверхности планеты.

Согласно статистическим данным вклад отходов производства в общее количество образующихся в Республике Беларусь отходов является более значимым. Поиск новых направлений использования отходов производства обусловлен негативным влиянием данных материалов на компоненты окружающей среды при их хранении или захоронении, истощением природных ресурсов и присутствием в составе отходов ценных компонентов, что позволяет вовлечь данные отходы в хозяйственный оборот.

При выборе направления использования любого отхода важной характеристикой является степень его опасности. При определении этого показателя используются совокупность параметров, одним из которых является установление его экотоксичности. В соответствии с действующими в Республике Беларусь нормативными правовыми документами [1] «экотоксичность – способность отходов в случае попадания в окружающую среду представлять немедленно или со временем угрозу для окружающей среды в результате биоаккумуляции и (или) оказывать токсичное воздействие на биотические системы». Многие отходы производства обладают выраженным экотоксическим действием в отношении микроорганизмов, организмов более высокого уровня организации живой материи, растений и др.

Цель работы заключалась в установлении фититоксических свойств отдельных видов отходов производства.

Исследования проводили с использованием тест-объектов – семян ржи посевной (*Secale cereale L.*). Выбор данной культуры обусловлен широким применением указанного растения в сельском хозяйстве для производства продуктов питания.

В качестве объекта исследований выступали два вида отхода

производства: древесная зола, образовавшаяся в промышленных условиях при сжигании древесной массы в теплоэнергетических установках, и земля (песок) формовочная горелая, образующаяся в литейном производстве.

В работе использовали семена ржи со всхожестью не менее 95%. Исследование фитотоксичности отходов проводили на водном экстракте, полученном при взаимодействии жидкой и твердой фаз в течение 24 часов при массовом соотношении фаз 1:10 и периодическом перемешивании суспензии [2]. Далее осуществляли разделение твердой и жидкой фаз методом фильтрования. Полученную вытяжку (экстракт) разбавляли дистиллированной водой. Образующиеся разбавленные растворы экстракта помещали в чашки Петри, где находились 25 семян. Пробы термостатировали при температуре 23 °С в течение 7 суток. Контрольной пробой выступала проба на основе дистиллированной воды. Далее производили измерение длины проростков и корней семян ржи.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что среднее значение длины корней образцов семян, помещенных в раствор при минимальном разбавлении водной вытяжки древесной золы, составляет 116 мм, что на 20,8% больше, чем для контрольной пробы. Это, вероятно, обусловлено наличием в составе водной вытяжки исследуемого отхода ряда элементов, стимулирующих рост корней. С увеличением степени разбавления вытяжки водой длина корней семян снижается, что вызвано уменьшением количества необходимых элементов в растворе. При этом, значения эффекта торможения для всех проб не превышают 20%, что свидетельствует о недоказанности фитотоксического действия водной вытяжки золы в отношении корней семян ржи.

Установлено, что среднее значение длины проростков семян ржи, полученное при исследовании экстракта из древесной золы, при минимальном разбавлении вытяжки также имеет максимальную величину, что на 16,7% больше, чем для контрольной пробы. Однако, при разбавлении вытяжки водой фиксируется угнетение роста проростков семян. Эффект торможения развития проростков также не превышает 20%, что свидетельствует о недоказанности фитотоксического действия древесной золы в отношении проростков семян ржи.

Результаты исследований фитотоксических свойств земли формовочной горелой также свидетельствуют об отсутствии указанного эффекта в отношении семян ржи посевной. Для всех исследуемых проб наблюдается стимулирование роста корней по сравнению с контрольной пробой. Это, вероятно, также обусловлено наличием питательных веществ, входящих в состав экстракта, полученного из отхо-

да. Это подтверждается снижением стимулирующего эффекта в роста корней при разбавлении исходного экстракта дистиллированной водой. Максимальная длина корней фиксируется для пробы, полученной без разбавления и содержащей исходный экстракт. В этом случае, среднее значение длины корней семян ржи посевной в 2,5 раза больше аналогичного параметра, полученного при проращивании семян в дистиллированной воде (контрольная проба). Минимальное значение длины корней семян ржи посевной составляет 22 мм, что на 22% больше, чем для контрольной пробы, наблюдается при максимальном разбавлении экстракта 1:100000.

Наличие стимулирующего эффекта экстракта, полученного при использовании земли формовочной горелой, фиксируется в отношении проростков семян ржи посевной. Стимулирующий эффект здесь менее выражен, чем в отношении роста корней. Так, максимальное значение средней длины проростков семян наблюдается для опытной пробы, полученной при использовании исходного экстракта, не разбавленного дистиллированной водой. При этом полученная величина показателя для указанной пробы на 82,4% превышает значение средней длины проростков семян ржи по сравнению с контрольной пробой. При разбавлении экстракта дистиллированной водой имеет место снижение стимулирующего эффекта роста проростков семян ржи.

Полученные результаты свидетельствует о том, что древесная зола, образовавшаяся в промышленных условиях сжигания древесной массы, и земля (песок) формовочная горелая, образующаяся в литейном производстве, не обладают выраженным фитотоксическим эффектом, что позволяет расширить направления применения данных отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Инструкция о порядке установления степени опасности отходов производства и класса опасности опасных отходов производства: постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Министерства здравоохранения Республики Беларусь и Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, 29.11.2019 г., № 41/108/65 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/W21934870_1576270800.pdf. (Дата доступа: 04.01.2022).

2 Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности: Методические рекомендации. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008.– 15 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА СОЛОДА

Увеличение количества накопленных отходов производства и потребления, повсеместно фиксируемое на планете, является следствием низкой степени вовлечения данных материалов в хозяйственный оборот. Это обусловлено отсутствием технологических схем, позволяющих использовать отходы в качестве вторичных материальных ресурсов; дополнительными затратами на организацию производственных процессов для выпуска товарной продукции с применением отходов, что снижает прибыль производителей; ухудшение качества производимой продукции и другими факторами.

Для определения возможности использования отходов в качестве вторичных материальных ресурсов важным является определение их следующих характеристик: химического и фракционного (гранулометрического, дисперсного) состава, агрегатного состояния, степени опасности, стабильности состава под действием факторов окружающей среды (воздействии повышенной или пониженной температуры, солнечных лучей и атмосферных осадков и т. д.).

Цель работы – исследование дисперсного состава отходов производства солода для поиска направлений вовлечения их в хозяйственный оборот.

В качестве объекта исследований выступали следующие виды отходов, образующихся в производстве солода:

1) отходы солода (ростки), относящиеся в соответствии с классификатором отходов, образующихся в Республике Беларусь [1], к неопасным отходам (код отхода – 1140400);

2) отходы зерновые 2-й категории, относящиеся к неопасным отходам (код отхода – 1110500).

Указанные отходы относятся к блоку 1 «Отходы растительного и животного происхождения», разделу 1 «Отходы пищевых и вкусовых продуктов», группе 1 «Отходы производства пищевых продуктов» в классификаторе отходов, образующихся в Республике Беларусь [1].

Рассматриваемые виды отходов производства солода характеризуются значительным объемом образования. Так, в соответствии с экологическими нормами и правилами [2] нормативы образования данных отходов производства составляют: отходы солода (ростки) –

не более 4,5% от массы солода; отходы зерновые – 4,5 % от массы ячменя, поступившего на очистку и сортировку.

Для определения дисперсного состава данных отходов использовался ситовый метод. Сущность метода заключается в распределении частиц по фракциям при рассеивании последних на ситах с последующим определением их массовой доли. Определение фракционного состава отходов проводили с использованием набора сит по ГОСТ Р ИСО 5223-99 [2] с учетом требований ГОСТ 30483-97 [3]. Фракционный состав определяли на двух параллельных навесках. Масса навески с преобладающим размером частиц более 1 мм – 500 г, менее 1 мм – 100 г. Сита перед использованием должны быть чистыми и сухими.

Результаты определения гранулометрического состава рассматриваемых отходов представлены в таблице.

Таблица – Гранулометрический состав отходов производства солода

Размер частиц фракции, мм	Массовая доля фракции, %	
	отходы солода	отходы зерновые
3,0-3,25	4,15	12,43
0,5-3,0	34,00	46,64
0,112-0,5	33,88	37,95
Менее 0,112	27,97	2,98

Анализ результатов исследований свидетельствует о том, что указанные выше отходы имеют размер частиц не превышающий 3,25 мм. Для отходов солода наблюдается практически равное содержание массовой доли фракций с размером частиц: 0,5-3,0 мм, 0,112-0,5 мм и менее 0,112 мм. Доля фракции с размером частиц более 3,0 мм минимальна и составляет 4,15%.

В составе отходов зерновых преобладает фракция с размером частиц 0,5-3,0 мм – 46,64% и фракция с размером частиц 0,112-0,5 мм – 37,95%. В отличие от отходов солода данные отходы характеризуются минимальным содержанием фракции с размером зерен менее 0,112 мм и значительным содержанием фракции с размером частиц 3,0-3,25 мм. Наблюдаемые различия гранулометрического состава рассматриваемых отходов производства обусловлены особенностями технологического процесса производства солода.

В настоящее время часть отходов производства солода находит применение. Известно использование данных отходов в качестве сырьевых компонентов при изготовлении кормов. Особенно ценным для этого направления использования являются отходы солода (ростки), что обусловлено высоким содержанием в них питательных веществ (углеводов, белков, витаминов и др.).

Известны иные направления использования данных отходов.

Зерновые отходы могут найти применение в качестве удобрения, что обусловлено высоким содержанием азота в отходах. Поскольку зерновые отходы обладают определенным энергетическим потенциалом, они могут использоваться для изготовления топливных брикетов или пеллет, а также в качестве биотоплива. Зерновые отходы применяются в качестве биосорбентов для очистки сточных вод.

Для каждого из указанных направлений использования зерновых отходов важной характеристикой, оказывающей значительное влияние на качество получаемой продукции, является гранулометрический состав отходов.

Полученные в работе результаты исследований будут ценными при определении вида отхода, образующегося при производстве солода, на основе которого планируется осуществлять выпуск товарной продукции, которая найдет применение в указанных выше или иных направлениях использования зерновых отходов.

Использование отходов производства солода в качестве вторичных материальных ресурсов позволит снизить загрязнение компонентов окружающей среды, сберечь природные ресурсы, уменьшить экологические платежи за хранение или захоронение отходов производства.

ЛИТЕРАТУРА

1 Об утверждении, введении в действие общегосударственного классификатора Республики Беларусь: постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 9 сент. 2019 г., № 3-Т [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21934631p&p1=1>. (Дата доступа: 04.01.2022).

2 ЭкоНиП 17.01.06-001-2017. Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ecoinv.by/images/pdf/tkp_fond/_17.01.06-001-2017.pdf. (Дата доступа: 04.01.2022).

3 ГОСТ Р ИСО 5223-99. Сита лабораторные для анализа зерновых культур. Технические требования. – М.: ГОССТАНДАРТ РОССИИ, 1999. – 6 с.

4 ГОСТ 30483-97. Зерно. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей; содержания мелких зерен и крупности; содержания зерен пшеницы, поврежденных клопом-черепашкой; содержания металломагнитной примеси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data/276/27696.pdf>. (Дата доступа: 04.01.2022).

УДК 504.3.054

И.Ю. Козловская, канд. техн. наук, ст. преп. (БГТУ, Минск);
И.С. Будяну, учащийся (ГУО «Средняя школа № 8», г. Гомель)

ХИОНОИНДИКАЦИЯ КАК МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Хионоиндикация является методом мониторинга качества атмосферного воздуха по состоянию снежного покрова. Атмосферные осадки выступают чувствительным индикатором загрязнения атмосферы. Данные о содержании загрязняющих веществ в них применяются для оценки регионального загрязнения промышленных центров, городов и сельской местности.

Анализ снежного покрова как показателя загрязнения воздуха удобен по следующим причинам [1]:

– при образовании и выпадении снега в результате процессов его сухого и влажного вымывания концентрация загрязняющих веществ в нем на 2–3 порядка выше, чем в атмосферном воздухе;

– отбор проб прост и не требует специального сложного оборудования; послойный отбор дает возможность отследить динамику загрязнения за зимний период; одна проба, взятая по всей толщине снежного покрова, дает представительные данные о загрязнении в период от образования устойчивого снежного покрова до момента отбора пробы;

– отбор снежных проб позволяет установить районы рассеивания выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников, определить пути их поступления в поверхностные воды и почвы.

Химический состав снежного покрова формируется в результате поступления различных веществ с выпадающими атмосферными осадками, поглощения снежным покровом из нижних слоев атмосферы газов, водорастворимых аэрозолей, а также за счет взаимодействия с ними твердых пылевых частиц, накопленных за период формирования снежного покрова [2].

Поэтому при анализе снежных проб обычно исследуется две фазы – растворенную и нерастворенную. Такой анализ позволяет получить информацию о пространственном распределении наиболее подвижных водорастворимых форм химических элементов и форм (сорбированных, карбонатных, гидроксильных и др.), связанных с минеральными и органно-минеральными носителями [3]. Одна проба по всей высоте снежного покрова дает представительные данные о загрязнении за весь период от установления снежного покрова до момента отбора пробы, а послойный отбор проб снежного покрова поз-

воляет получить динамику загрязнения за зимний сезон.

В Республике Беларусь наблюдения за состоянием снежного покрова проводятся на 22 пунктах наблюдений Национальной системы мониторинга окружающей среды, включая фоновый пункт наблюдений – Березинский биосферный заповедник. Отбор проб производится в конце февраля – в период максимального накопления влагозапаса в снеге. В снежных пробах контролируются концентрации SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , значение рН и электропроводность [4]. Отбор снежных проб производится в соответствии с ТКП 17.13-15-2014 (02120), анализ – в соответствии с методиками выполнения измерений, внесенными в Реестром ТНПА и МВИ в области охраны окружающей среды.

Состояние снежного покрова выступает важным индикатором качества окружающей среды, позволяет оценить состояние атмосферного воздуха и спрогнозировать вероятность и степень загрязнения поверхностных вод и почв. Поэтому метод хионоиндикации является неотъемлемой составляющей системы мониторинга окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1 Шумилова, М.А. Снежный покров как универсальный показатель загрязнения городской среды на примере Ижевска [Текст] / М.А. Шумилова, О.В. Садиуллина // Вестник Удмуртского университета. Физика. Химия. – Ижевск, 2011. – № 2. – С. 91–96.

2 Загрязнение снежного покрова в зоне воздействия предприятий Норильского промышленного района / А.А. Онучин [и др.] // Сибирский экологический журнал [Электронный ресурс]. – 2014. – № 6. – С. 1025–1037. – Режим доступа: <https://www.sibran.ru/upload/iblock/fc8/fc8e5507a4c058fc16797af6ed63eca5.pdf>. – Дата доступа: 06.01.2022.

3 Исследование аккумуляционной способности биообъектов к содержанию свинца в атмосферном воздухе урбанизированных территорий [текст] // Е.В. Крестьянникова // магистерская диссертация. – Тюмень, 2017. – 93 с.

4 Состояние снежного покрова [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rad.org.by/articles/vozduh/ezhegodnik-sostoyaniya-atmosfernogo-vozduha-2019-god/sostoyanie-snezhnogo-pokrova.html>. – Дата доступа: 05.01.2022.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА OPENLCA ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Одним из инструментов экологического менеджмента, получивших широкое распространение в развитых странах, предназначенный для оценки эколого-экономических воздействий на окружающую среду при производстве продукции или услуг, является метод Оценки жизненного цикла (ОЖЦ). Государственные организации, компании и научно-исследовательские учреждения применяют этот инструмент для принятия решений и разработки планов развития производства как отдельных продуктов, так и целых секторов экономики с целью учета экологических воздействий [1].

Согласно СТБ ISO 14040-2010 под ОЖЦ (англ. LCA – life cycle assessment) понимают сбор информации, сопоставление и оценка входных потоков, выходных потоков, а также возможных воздействий на окружающую среду на всем протяжении жизненного цикла продукции. Главной особенностью метода, отличающей его от других применяемых методов системного анализа, является проведение оценки экологического воздействия всех стадий жизненного цикла.

Метод ОЖЦ является сложным итерационным процессом, который включает в себя четыре стадии:

- определение цели и области применения;
- инвентаризационный анализ жизненного цикла;
- оценка воздействия жизненного цикла;
- интерпретация жизненного цикла.

ОЖЦ предполагает оперирование большим количеством данных, допущений и ограничений, и соответственно применение специфических программных средств, облегчающих эту работу. Выполнение ОЖЦ с применением специализированных программных продуктов облегчает централизованный сбор инвентаризационных данных, использование существующих баз данных, а также автоматизированное проведение этапа оценки воздействия жизненного цикла.

Основные программные продукты, применяемые для проведения ОЖЦ:

- SimaPro (Голландия);
- GABi, UMBERTO (Германия);
- EASEWASTE (Дания);
- Ecoinvent (Швейцария);
- openLCA (Германия).

Единственным бесплатным программным продуктом с открытым исходным кодом среди перечисленных является openLCA. Впервые он был выпущен компанией GreenDeltaTC (Германия) в 2006 г. [2].

Программный продукт представляет собой многофункциональную модульную платформу, предназначенную для моделирования и расчета ОЖЦ в соответствии со стандартами ISO 14040 и 14044. Программа поддерживает основные базы данных, включая ecoinvent, ELCD и позволяет визуализировать и экспортировать результаты. В качестве сервера баз данных используется MySQL. Программный продукт имеет клиент-серверную (для возможности совместной работы) и персональную версию [2].

Использование программы openLCA позволяет облегчить проведение процедуры ОЖЦ и соответственно обеспечить принятие более взвешенных управленческих решений. Анализ чувствительности модели жизненного цикла продукции или услуги реализованный в программе может использоваться для определения наиболее критичных его этапов, требующих особого внимания с точки зрения охраны окружающей среды.

Существенно расширяет возможности пользователей openLCA из стран, не являющихся членами Организации европейского экономического сотрудничества (ОЕЭС), совместимость с профессиональными базами данных Ecoinvent, на использование которой можно получить бесплатную лицензию для учебных и исследовательских целей. Бесплатная программа и базы данных способствуют распространению использования метода ОЖЦ некоммерческими организациями и исследовательскими институтами в развивающихся стран. На кафедре промышленной экологии Белорусского государственного технологического университета планируется использовать openLCA для решения исследовательских задач и в учебных целях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уланова О.В., Старостина В.Ю. Краткий обзор метода оценки жизненного цикла продукции и систем управления отходами // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6799> (дата обращения: 11.02.2022).

2. Ciroth, A. openLCA – Implications of an Emerging Open Source Software for Sustainability Assessment / Ciroth, A., Srocka, M., Hildenbrand, J., Moeller, A., Page, B., Schreiber, M.// *EnviroInfo*. – 2008 – pp. 435–439.

УПРАВЛЕНИЕ ЭКОБЕЗОПАСНОСТЬЮ ИНЖЕНЕРИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ

На сегодняшний день в мире тема по управлению эколого-экономическими процессами и модернизация инженерных систем в промышленности имеет одно из приоритетных направлений природопользования, в связи с глобальными проблемами, которые выносятся на повестку дня всех самодостаточных государств мира. Современные экономические проблемы нашли свое отражение в законодательных постановлениях.

Следует заметить, что экологические стратегии повышения эффективности экологической модернизации охраны биосферы и в частности атмосферного воздуха, с условием известных фактов антропогенного происхождения источников загрязнения, относящиеся к центральным элементам экологического менеджмента на стратегическом уровне. При рассмотрении составляющих технологических процессов промышленных систем установлены лимитирующие факторы развития в системе (действие – состояние – совершенствование) и определены отдельные информационные обеспечения контроля за социально-экономическими системами – это информация, которая необходима для интегрального управления, что обуславливает применение тех или иных методов природоохранной деятельности.

Информационная база – это ключ к определению алгоритмов функционирования модернизированных технологий (имеется в виду функциональные и аналитические признаки, определенные современными методами).

Разработаны принципы и критерии управления системы тепло-энергетических объектов жилищно-коммунального сектора. Решены специальные вопросы тепло массообмена – важная стадия решения путей повышения качественных и количественных показателей использования тепло массообменных процессов в системах теплоснабжения при условии применения в них омагниченной воды. Теоретические принципы омагниченной воды представлены в работах, а приоритетный уровень подтвержден получением трех патентов Украины на полезное действие, авторских свидетельств на интеллектуальную собственность, с участием на отечественных, зарубежных конференциях. Вопрос использования омагниченной воды в системах теплоснабжения в XXI веке получил распространение на территории Укра-

ины и в некоторых иностранных государствах. Установление структурно-функциональных завязок между составляющими системами теплоснабжения позволило использовать этот подход для применения интегральных параметров устойчивого экономического состояния технической системы, которые позволяют количественно определять взаимосвязи между техногенным действием, состоянием и следствием для технической воды, трубопроводах систем теплоснабжения при применении обработки воды в электромагнитных полях. Вопросы тепло массообмена позволяют снизить себестоимость существующих инфраструктурных проектов, что приведет к снижению ценообразующей экономической политики.

В связи со значительной ролью в энергообеспечении страны систем водяного и парового теплоснабжения, центральное место занимают вопросы эффективного использования тепловой энергии на всех участках этих систем: генерации для нагрева воды или для образования пара; транспортировку к потребителю, а также при использовании ее потребителем.

Все эти стадии в системах водяного теплоснабжения вода проходит в различных отраслях хозяйства: жилищно-коммунальном секторе, промышленности и агропромышленном комплексе, где могут проходить изменения состава, структуры и свойства воды и теплообменных поверхностей систем, образование на них накипи, что приводит к ухудшению тепло массообменных процессов. и теплоэнергетических показателей, влияет на общие показатели эффективности процесса, а также в значительной степени усложняет его теоретическое рассмотрение и обоснование режимных параметров. Во многих отраслях достигнуты положительные результаты обработки воды в магнитных полях.

Таким образом, экологизация промышленных производств (в том числе теплоэнергетических объектов) направление, в основе которого освоены новые экологические методы хозяйствования, обеспечивающие восстановление природных ресурсов за счет формирования устойчивых эколого-экономических систем, характеризующаяся как система взаимосвязанных процессов, обеспечивая взаимодействие экономо-социальных, технологических и управленческих мероприятий, для повышения эффективности и устойчивого развития промышленных производств, внедрение инновационных технологий и ее модернизацию.

УДК 620:621.09.31.311.661.51.313

Д.П. Гламаздин, инж. (BBS Фрайберг-на-Неккаре, ФРГ);
П.М. Гламаздин, доц.; Н.Е. Журавская, доц., канд. техн. наук
(КНУСА, г. Киев, Украина)

МОДЕРНИЗАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ПАРКА ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В последние годы развитие «зеленой энергетики» является доминирующим трендом в мире [1]. Это направление предполагает значительное уменьшение выбросов CO₂ в атмосферу, следствием чего является ускоренный массовый вывод из эксплуатации источников теплоты, использующих органическое топливо во всех видах. Однако страны со среднемесячной температурой ниже нуля, имеющие развитую систему централизованного теплоснабжения с теплогенерирующими установками традиционного типа не смогут быстро перестроиться на безуглеродную энергетику, несмотря на угрозу введения всеобщего системного налога на продукцию, произведенную с использованием углеродных топлив [1]. Для повышения устойчивого развития экономики в этих условиях необходимо задействовать возможности модернизации эксплуатируемых топливоиспользующих агрегатов с целью повышения их экологических характеристик, поскольку практически все водогрейные котлы, использующиеся в отопительных котельных, как, впрочем, и в качестве тиковых котлов ТЭЦ не отвечают современным европейским нормам по выбросам оксидов углерода и азота [2].

Для снижения выбросов этих веществ в атмосферу может быть выбрано два направления:

- снижение удельного потребления топлива на генерирование теплоты, что автоматически уменьшает общее количество образующихся выбросов с одновременным уменьшением количества двуоксида углерода (парникового газа);
- совершенствование процессов горения углеводородного топлива в таких котлах.

Для поисков путей реализации первичного направления можно воспользоваться уравнением теплового баланса котла [3]:

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 \quad (1)$$

Анализ уравнения показывает, что для увеличения КПД котла, что однозначно ведет к уменьшению удельного расхода топлива и соответственно к уменьшению выбросов, необходимо уменьшать поте-

ри. Можно выделить набор технологических решений, применение которых дает возможность увеличить КПД водогрейных водотрубных котлов серий ПТВМ, КВГМ, ТВГ, КВГ, НИИСТу-V, которыми в основном укомплектованы отопительные котельные СЦТ постсоветских стран [1]. Все эти серии котлов используют газообразное топливо, поэтому потери q_4 и q_6 из рассмотренного нужно исключить. Основная потеря в случае использования газа – это потери с уходящими q_2 . Уменьшить эту потерю до минимума можно снизив температуру продуктов сгорания (уходящих) за котлом вплоть до значений, при которых начинается конденсация водяных паров, содержащихся в уходящих. Во всех перечисленных сериях водогрейных котлов не предусматривался предварительный подогрев дутьевого воздуха. Это обстоятельство дает возможность применять выносные воздухоподогреватели для снижения температуры уходящих вплоть до перехода в конденсационные режимы, не применяя первоначальную конструкцию котлов.

При этом возможно использование неметаллических материалов для изготовления воздухоподогревателей, что исключает опасность возникновения низкотемпературной коррозии в них. Организация конденсационного режима котлов позволяет еще больше уменьшить количество выбрасываемого в атмосферу оксида углерода и азота в результате их связывания выпадающим конденсатом воды. Образующие при этом угольная и азотистые кислоты при нейтрализации переходят в соли, которые возможно использовать в химической промышленности. Другая возможность уменьшения потери q_2 – это исключение присосов по ходу газового тракта. При этом возможна реализация двух технических решений – переход к газоплотному исполнению экранных поверхностей в топках котлов [2] и замена обмуровки. Второе направление приводит к одновременному уменьшению потери q_5 [3].

Еще одна возможность снижения выбросов оксидов углерода и азота – замена существующей системы автоматического управления работы котлов. Системы автоматики к эксплуатируемым котлам разрабатывались, как и сами котлы, еще в прошлом веке и не обладают возможностями, которые представляют сегодняшний уровень техники в области автоматизации регулирования технологических процессов. Необходимо отметить, что реализация всех возможностей современных управляющих контроллеров невозможно без оснащения тягодутьевых машин частотными регуляторами и замены газового оборудования.

Приведенные способы снижения вредных выбросов в атмосферу не затрагивают проблему совершенствования процесса горения в топке котла, в котором образуются оксиды углерода и азота. Количество образующихся оксидов при горении углеродов в топках зависит от совершенства конструкции горелки и от оптимальности расположения горелок в топке.

Горелки, которыми оснащены по большей части эксплуатирующиеся котлы разрабатывались полвека назад и естественно существовавшие в те времена требования к их экологическим характеристикам никак не соответствуют современным жестким требованиям. Нынешнее поколение горелок, производимых европейскими лидерами в этой области, удовлетворяют существующим жестким требованиям и даже превосходят их. Достигается это за счет использования в конструкциях горелок результатов численного моделирования сложнейших процессов тепломассопереноса и аэродинамики, осложненных химическими реакциями в горящем факеле и их экспериментальной верификации. Замена штатных горелок на совершенные образцы – это безусловно радикальная мера повышения экологических характеристик котлов.

Однако, проектируя такую замену, необходимо учитывать сложность адаптации горелки к геометрическим параметрам топки и при этом стремиться к уменьшению числа горелок в тех сериях котлов, где изначально их было много [4]. Поскольку современные горелки – это дорогие аппараты, возможны промежуточные технические решения. Например, известны довольно удачные попытки модернизации штатных горелок, например, типа ГМГ, с соответствующей реконструкцией систем топливоподачи и воздухообеспечения, а также использования современного комплекта автоматики [5].

Возможна организация рециркуляция части продуктов сгорания в топку [6]. Однако при этом возможно некоторое снижение КПД котла. Поэтому для принятия решения об использовании этого метода необходимо предварительно просчитать целесообразность использования метода, поскольку снижение уровня выбросов в этом случае может нивелировать эффект от повышения КПД за счет других мероприятий.

Очень действенный метод снижения вредных выбросов - модификация дутьевого воздуха путем его обогащения кислородом. При этом повышается КПД котла за счет уменьшения балласта в топке (азота воздуха) и интенсифицируется процесс горения в топке. Поскольку ранее методом получения кислорода мог быть только метод криогенного разделения воздуха. Это дорогой метод и его использо-

вание в энергетике экологически себя не оправдывало. Однако с бурным развитием мембранных технологий разделение воздуха с их применением значительно подешевело и экологически становится вполне рентабельным [7]. Особенно эффективен этот метод при сжигании угля, поскольку увеличивает степень выгорания углерода и соответственно уменьшает потери q_4 и q_6 .

Таким образом, из изложенного выше следует, что эксплуатируемые в настоящее время водогрейные котлы отопительных котельных систем централизованного теплоснабжения имеют значительные резервы для повышения своих экологических характеристик, что укладывается в тренд снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1 Информация по подготовке углеродного налога. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/tax/lt-in-focus/russian/2021/20-07-2021.pdf> (Дата обращения 08.01.2022).

2 Норматив ЕС по выбросам CO и NO_x от котлов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.era-comm.eu/Introduction_EU_Environmental_Law/EN/module_8/part_3/index.html (Дата обращения 23.12.2021).

3 Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. – М.: Энергия, 1973. – 296 с.

4 Джанелидзе М.М. Исследование водогрейного котла ПТВМ-50 с мембранной конвективной поверхностями / М.М. Джанелидзе, И.Д. Лисейчик, М.Е. Кипшидзе, С.С. Байдин // Теплоэнергетика. 1981, № 7, с. 62065.

5 Гламаздин П.М., Гламаздин Д.П. Досвід модернізації водогрійних котлів ПТВМ-30. Житлово-ком. Господарство України. 2012. № 9 (92). С. 59-61.

6 Локтев А.В., Малахов А.В. Технические решения модернизации газогорелочных устройств отопительных котлов. Труды Нижегородского государственного технологического университета им.Алексеева, 2014, № 2(104). – с.148-153.

7 Гламаздин П.М., Дяченко А.А. Збогачення кислородом дутьового воздуха для повышения энергоэффективности энергетических парогенераторов. Ученые записки Таврийского национального университета им. В.И.Вернадского. Серия «Технические науки». Т.32 (71), № 4, 2021. – с.178-185.

ПРИМЕНЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ПО ОЦЕНКИ РИСКОВ ЭКОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

С учетом известных понятий методологии оценки риска – это выбор оптимальных в данной конкретной ситуации путей устранения или уменьшения риска, он состоит из взаимосвязанных частей: оценка риска (полная или базовая схема оценки риска предполагает проведение четырех взаимосвязанных этапов, идентификацию опасности; оценку экспозиции, характеристику опасности (оценку зависимости «дозаответ»); черту риска); управление риском (основные задачи управления риском – сравнительное изучение факторов риска, установление весомости рисков, их ранжирование и выявление приоритетов, обоснование лучших в данной ситуации решений по устранению или минимизации риска, а также оценка эффективности и корректировки оздоровительных мероприятий. Управление риском базируется на совокупности политических, социальных и экономических оценок полученных величин рисков, сравнительной характеристике возможного вреда для здоровья человека и общества в целом, возможных затрат на реализацию разных вариантов управленческих решений по снижению риска и выгод, которые будут получены в результате реализации мер); информирование о риске (процесс распространения результатов определения степени риска для здоровья человека и решений по его контролю. На их основе органы санэпидслужбы совместно с административными органами, с учитывая приоритетность как отдельных источников загрязнения, так и ведущих факторов, формирующих наиболее высокий и опасный уровень риска для здоровья населения и состояния окружающей природной среды, разрабатывают комплекс профилактических мер и очередность их внедрение. Этот аспект является принципиально новым и отличает концепцию риска от предыдущих концепций использовались при оценке опасности влияния вредных факторов окружающей среды для населения). При оценке рисков для здоровья, обусловленных влиянием загрязнителей атмосферного воздуха, целесообразно ориентироваться на систему критериев, рекомендованную в публикациях ВОЗ (1996, 1999, 2000 гг) [1].

Направление по оценки рисков экотехнологической безопасности, которые осуществляет оценку уровня канцерогенного и неканцерогенных рисков для здоровья населения от существующего загрязнения атмосферного воздуха на территории населенного пункта, сформированного за счет промышленных выбросов, жизнедеятельности населения и процессов трансформации.

Ответственное отношение к выполнению производственных задач, рациональная организация деятельности, использование качественных (сертифицированных по международным стандартам) материалов, а также соблюдение технологий и производственных процессов являются основополагающими принципами экологической безопасности любого преуспевающего и прибыльного производства, с учетом глобальных целей устойчивого развития до 2030 года (одни из составляющих – обеспечить достижение высоких экономических показателей путем диверсификации экономики, использования достижений технологического прогресса и инновационного развития; повышение общей эффективности потребления и производства ресурсов, а также способствовать экономическому росту, взяв за пример опыт развитых стран, целью противодействия ухудшению экологической ситуации) [2].

Методы оценки уровня экологической безопасности [3] как для отдельных предприятий, так и для целых отраслей очень разнообразны, например, которые используют показатели аварийности на поднадзорных объектах (число аварий за отчетный период). При использовании показателей аварийности и травматизма в чистом виде – не вполне правдиво отражается экологическая безопасность предприятия.

С целью определения уровня экологической безопасности используют результаты контрольной и надзорной деятельности на предприятиях - количество проведенных проверок - количество выявленных при проверках нарушений - оперативное устранение нарушений - осуществление внеплановых мероприятий в области промышленной безопасности - повышение квалификации по промышленной безопасности и охране труда на предприятиях.

Загрязняющие вещества производства:

– двуокись азота относится к семейству высокого реакционного газа, которые называются оксиды азота (NO_x). Двуокись азота является сильным окислителем, реагирующим в воздухе с образованием азотной кислоты, а также токсичных органических нитратов. Он также играет важную роль в атмосферных реакциях, образующих приземный озон (смог). Диоксид азота является токсичным для растений

в краткосрочной концентрации 120 мкг/м³. Когда диоксид серы и озон оказывают длительное влияние на растительность, последствия становятся еще хуже. Диоксид серы, диоксид азота может привести к выпадению кислотных дождей.

– угарный газ (СО) представляет собой бесцветный, без запаха, ядовитый газ. Угарный газ вступает в реакцию с другими загрязнителями и производит приземный озон, который может причинить вред человеку, повредить здания и сельскохозяйственные культуры.

– метан СН₄ производится в больших количествах в результате биологических превращений в природе. Оценки ежегодных объемов природных источников и стоков метана в мире составляют около 500 миллионов тонн. Из данных 1990 года, в Украине наибольший вклад в выбросы метана вносит энергетика - около 65 %, также много метана выбрасывается при производстве сельскохозяйственной продукции и утилизации отходов. Метан – сопутствующий продукт сжигания биомассы и неполного сгорания топлива. Поглотители метана являются почвы и химические превращения в атмосфере.

– ртуть является одним общим металлом, не замерзающим при обычных температурах. Ртуть это довольно плохой проводник тепла по сравнению с другими металлами, но достаточно хорошим проводником электричества. Все ртути, выбрасываемые в окружающую среду, в конечном счете обнаруживаются в почвах и поверхностных водах.

Высвободившиеся компоненты активно взаимодействуют с озоном в галогеновом цикле распада атмосферного озона. Контроль за соблюдением нормативов ГДВ на предприятии проводится на источниках выбросов и по фактическому загрязнению атмосферы на специально выбранных контрольных точках, расположенных на границе санитарно-защитной зоны и в селитебной зоне. К используемым способам по снижению вероятности перерастания опасного явления в ЧС [4] относятся: инженерная защита от опасных природных и техногенных явлений; физическая защита потенциально опасных объектов от экстремальных социальных явлений, проведение мероприятий по повышению надежности персонала; обеспечение защищенности объектов (снижение уровня нагрузок, возникающих от опасных явлений); снижение уязвимости объектов к воздействию негативных (вредных) факторов опасных природных и техногенных явлений [5, 6]; обеспечение физической стойкости зданий и сооружений; обеспечение эффективности (надежности) систем безопасности, препятствующих перерастанию экстремальных ситуаций в аварию.

Таким образом, к оценке рисков экотехнологической безопасности на промышленных объектах можно отнести: выброс вредных веществ в атмосферу, загрязнение окружающих вод и почв, возможность возгорания рабочих машин и риск взрыва, технологические аварии в результате некорректного обращения с машинами и веществами (риск непредсказуемой ситуации).

В ближайших публикациях будут показаны серии исследований по представленной тематике.

ЛИТЕРАТУРА

1 Программы ВОЗ на 2000-2001 гг.: доклад Секретариата. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// apps.who.int /iris/handle/10665/79718](https://apps.who.int/iris/handle/10665/79718) (Дата обращения 07.01.2022).

2 Глобальные цели устойчивого развития 2030. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https:// www.ecolabel.org.ua/images/page/globalni-tsili-stalogo-rozvytku.pdf](https://www.ecolabel.org.ua/images/page/globalni-tsili-stalogo-rozvytku.pdf) (Дата обращения 08.01.2022).

3 Журавська Н., Стефапович І., Стефанович П., Аналіз виробничого ризику з допомогою експертної оцінки Монографія. Monograph Socio-economic and management concepts: International Scient Group. Boston:Primedia eLaunch, 2021. 660 p. Available at:. DOI 10.46299/ISG.2021. MONO.ECON.I ISBN 978-1-63684-341-4 P 283 – 297.

4 Журавська Н.Е., Стефапович І.С., Стефанович П.И., Потенциальные риски при аварии на атомной станции POTENTIAL RISKS IN AN ACCIDENT AT A NUCLEAR POWER PLANT Вестник Полоцкого государственного университета Серия F. Строительство. Прикладные науки. ISSN 2710-4435, июль – 2021, № 8, ISSN: 2070 – 1683, стр.25 – 32, <http://elib.psu.by:8080/handle/123456789/27649>.

5 Kulikov, P., Bondar, O., Zhuravska, N. Environmental management of production processes in heating systems when receiving magnetic water in reagentfree method with the aim of environmentalization. International Journal of Engineering and Technology(UAE)this link is disabled, 2018, 7(3), стр. 621–625. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.8.27284.

6 Kulikov, P.M., Zhuravska, N.Y., Savchenko, A.M. Modern Possibilities of Management of Technogenic-Natural Systems of Heat-Energy Objects of Industrial and Construction Industry. Lecture Notes in Civil Engineeringthis link is disabled, 2020, 73, стр. 115–121. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_13.

УДК 322.24

А.И. Белова, д-р экон. наук, проф., проф. (ОСП «ИИНО» Киевского университета строительства и архитектуры, Киев, Украина)

А.Е. Кочедикова, канд. экон. наук, доц.;

О.В. Король, магистр (Бориспольский институт муниципального менеджмента при МАУП, Киев, Украина)

ВЛИЯНИЕ ИННОВАЦИОННОСТИ НА ПОТЕНЦИАЛ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Отечественный опыт становления рыночной экономики свидетельствует, что попытки активизировать инновационную деятельность в ряде областей, в том числе и промышленной, в большинстве своей оказались безуспешными. Практическая реализация идей активизировать инновационную деятельность на основе разработки стратегического управления инновациями также не имели надлежащего успеха.

Современное состояние промышленных предприятий констатирует, что, с одной стороны, на протяжении нескольких последних лет сформировался довольно положительный тренд увеличения объемов производства промышленной продукции, а с другой стороны, наблюдаются тенденции к снижению общего объема произведенной продукции нового типа. Такая ситуация обусловлена сокращениям государственных затрат на капиталовложение, низкой среднеотраслевой рентабельностью производства на фоне опережающего роста цен на сырье и энергоресурсы, и, конечно же, недостаточными темпами реализации инновационных процессов у промышленности.

Без внедрения новых инновационных инструментов невозможно эффективно решать задачи повышения энергоэффективности изготовленной продукции, ее качественного усовершенствования, повышения уровня производительности работ и автоматизации производства.

Необходимо отметить и следующее, современная национальная экономика Украины принадлежит к группе стран с чрезвычайно низким уровнем инновационного развития и восприимчивости нововведений, при чем, предприятия промышленного комплекса имеют в большинстве, энерго- и ресурсоемкие производства, часть которых составляет от 36,0% до 61,0%, что свидетельствует о неэффективном управлении предпринимательскими структурами.

Так, предприятия промышленного комплекса целесообразно поделить на три уровня восприятия инновационной деятельности:

- 1-й – высокий уровень с пороговым значением более 3;
- 2-й – средний уровень с пороговым значением от 2 до 3;
- 3-й – низкий уровень с пороговым значением до 1.

Приоритетность принципов и распределение их по уровням влияния на инновационное развитие промышленного предприятия дает четкое понимание их взаимодействия, взаимозависимости и влияния на дальнейшее инновационное развитие промышленного предприятия.

Таблица 1 – Ключевые принципы инновационности промышленных предприятий

Ключевые принципы					
энерго-эффективность	надежность функционирования	непрерывность	обоснованность / надежность	результативность	самообновление / самоорганизация
I – уровень	I – уровень	II – уровень	III – уровень	II – уровень	I – уровень

Принципы инновационного развития промышленных предприятий распределены за 3-мя уровнями, которые можно назвать ключевыми функционалами и определяют иерархию и влияние на инновационность и развитие предприятия, где ключевым фактором является принцип 1 уровня, а наименее влиятельным является принцип 3 уровня. Принципы 1 уровня определяют направления инновационного развития, 2-го уровня - характеризуют особенности развития инновационной и производственной деятельности промышленного предприятия, принципы 3 уровня - являются источниками развития финансово-хозяйственной деятельности, поддерживают текущее их состояние и служат индикаторами дальнейшего инновационного развития предприятия.

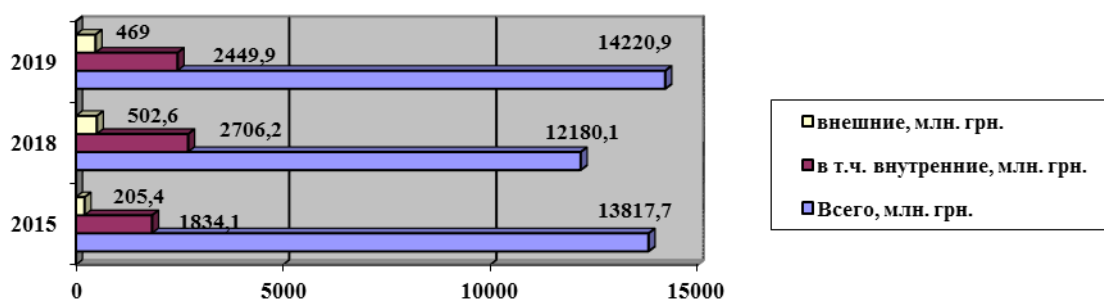


Рисунок 1 – Затраты на инновации промышленных предприятий по направлениям инновационной деятельности

Нужно указать и на то, что в современных непостоянных условиях хозяйствования и учитывая геополитические факторы в конкурентной борьбе лидируют наукоёмкие области и производства которые используют новейшие технологии и предлагают потребителю высокотехнологическую продукцию.

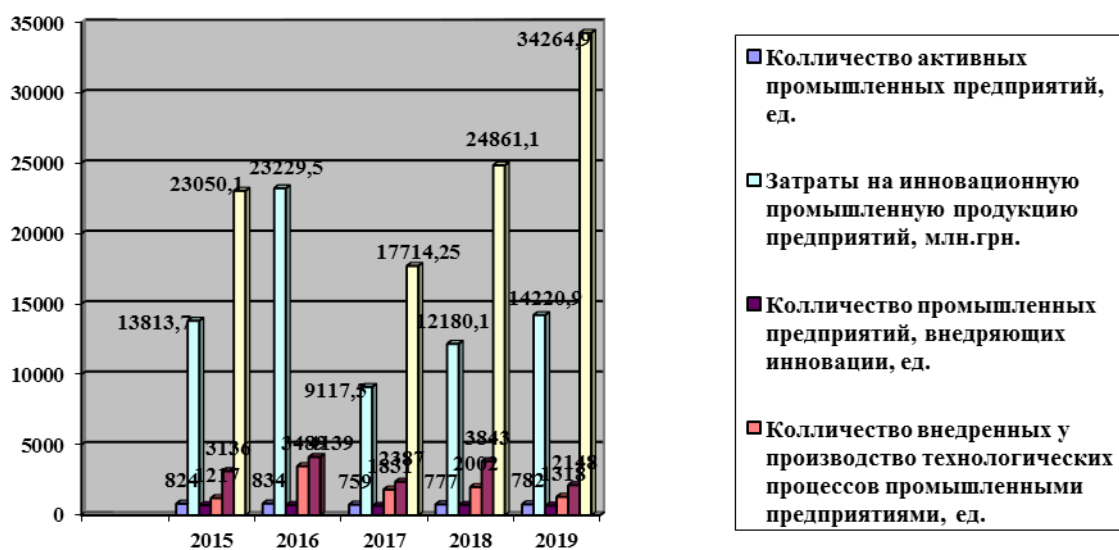


Рисунок 2 – Основные показатели инновационной деятельности промышленных предприятий за 2015-2019 гг.

Таблица 2 – Затраты на инновации предприятий по источникам финансирования инновационной деятельности, млн. грн.

	Года		
	2015	2018	2019
Всего	13813,7	12180,1	14220,9
Собственные средства предприятий	13427,0	10742,0	12474,9
Средства государственного бюджета	55,1	639,1	556,5
Средства местных бюджетов	38,4	13,4	109,9
Средства резидентов	74,3	109,7	72,3
Средства нерезидентов	58,6	107,0	42,5
Кредиты	113,7	473,9	853,2
Источники иных средств	46,6	95,0	111,6

Конститутивно-ключевым фактором обеспечения эффективного развития экономики любой страны есть активизация инновационной деятельности производственного комплекса, который обеспечивает экономическое развитие и надлежащий уровень конкурентоспособной продукции.

Существенное же отставание национальных предприятий в экономическом и инновационном развитии от ведущих государств мира наносит свое отражение на экономику страны в целом.

Нужно также взвесить и на то, что страны с развитой рыночной экономикой акцентируют внимание на инновационные проекты и программы и наше государство должно быть не исключением, чтобы обеспечить конкурентоспособность продукции предприятий и их экономический рост.

Целесообразным нужно подчеркнуть, что отечественный промышленный рынок привлекательный для западного инвестора, а сдерживающим фактором на сегодняшний день есть:

- военно – политическая ситуация в стране;
- нестабильность и несбалансированность законодательной базы функционирования отдельных звеньев производственного комплекса, прежде всего, налоговой системы;
- сложность и продолжительность подготовительной стадии производства;
- ухудшение общей экономической ситуации, а именно, инфляционные процессы и уменьшения доходов населения;
- изменение конъюнктуры рынка;
- рост конкуренции (появление новых фирм-инноваторов);
- форс-мажорные обстоятельства.

Вместе с тем стабилизация политической и экономической ситуации, борьба с коррупцией, внедрение прозрачных правил ведения бизнеса станут факторами, которые будут оказывать содействие поступлению западного капитала на отечественный рынок.

ЛИТЕРАТУРА

1 Белова А.І. Інноваційні проекти як елемент господарського механізму управління науково-технічним розвитком (пп. 2.3) / А.І. Белова / Інноваційно-інвестиційні напрями формування ефективної системи управління економікою за євроінтеграційних процесів: Монографія [Текст] / [А.І. Белова, С.М. Вдовенко, І.В. Калінько та ін. / за заг. ред. І.В. Калінько]. – Київ: Чернігівський державний інститут економіки і управління МОН України, Кондор-Видавництво, 2014. – 227 с. [С. 96 – 106].

2 Kochedykova AE Factors of generating signs of innovation for the construction of original organizational and economic tools of a construction company // Coll. scientific works. NAU issue 1 (57) Kyiv 2017- Problems of system approach in economy - MES of Ukraine. Pp. 54-59.

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ОТ КОТЛОВ НА ОРГАНИЧЕСКОМ ТОПЛИВЕ ПУТЕМ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ДУТЬЕВОГО ВОЗДУХА

На сегодняшний день в мировой энергетике основным направлением является замещение углеводного топлива, особенно угля, возобновляемыми источниками энергии. Евросоюз запланировал полный отказ от использования углеводородов к 2050 году [1]. Однако разразившийся в 2021 году и продолжающий развиваться в текущем году энергетический кризис в Европе, обусловленный поспешным использованием ветроэнергетики взамен угольных электростанций, заставил внимательно отнестись к поискам резервов повышения экологических характеристик электрогенерирующих и теплогенерирующих установок.

Среди других возможных методов повышения экологичности подобных установок очень перспективным выглядит модернизация дутьевого воздуха путем обогащения его кислородом. Сам метод изобретён более ста лет назад [2]. Однако в энергетике он не использовался, поскольку кислород получали методом криогенного разделения воздуха, стоимость которого не позволяла получить в энергетике приемлемые экологические показатели, но в последнее десятилетие появились и доведены до приемлемого использования два новых метода получения кислорода – адсорбционного и мембранного разделения газовых смесей, в том числе воздуха и продуктов сгорания углеводородов [3]. Особенно перспективным выглядит последний метод, поскольку этот метод находится ещё в начале жизненного цикла и постоянно совершенствуется и соответственно удешевляется, хотя чистота получаемого этим методом кислорода не достигает того уровня, который достигается при использовании криогенного метода.

Исследования в направлении обогащения дутьевого воздуха кислородом активно ведутся в странах, в которых основным видом топлива является имеющийся на их территории уголь низкого качества [4]. При этом в этих странах разрабатывается технология, при которой в качестве окислителя используется искусственная смесь кислорода и двуокиси углерода [4]. Однако, для использования этого метода нужно новое оборудование с углубленной очисткой продуктов сгорания, что требует больших капитальных вложений. Учитывая, что мировая экономика будет двигаться в сторону водородной энергетики

с получением водорода с использованием электроэнергии полученной, либо на атомных электростанциях, либо на солнечных установках имеет смысл модернизировать имеющиеся теплоэнергетические системы, включив в состав мембранные установки для получения кислорода. При этом предварительные оценки эффективности метода показывают, что он эффективен при использовании как природного газа, так и угля. В энергетике Украины преобладает уголь в качестве топлива для ТЭС и ряда ТЭЦ. В связи с низким качеством угля экологические показатели их работы далеки от желаемых и требуемых европейскими стандартами. Для оценки перспективности обогащения кислородом дутьевого воздуха энергетических угольных котлов было проведено расчетное исследование характеристик котлов типа ТП-100, распространенного на ТЭС Украины. Расчеты проведены с использованием нормативного метода. Для расчета были приняты следующие исходные данные и сделан ряд допущений: дутьевой воздух не подогревается $t^n = 20^\circ\text{C}$.

Теплопотери от химической и механической неполноты сгорания (q_3, q_4) и потери тепла от внешнего охлаждения (q_5) определяются справочными данными, приведенными в нормативном методе: $q_3=0\%$, $q_4=4\%$; $q_5 = 0,26\%$.

Поскольку мы приняли потери q_3 как отсутствующее, то избыток воздуха $\alpha = 1$.

Таблица – Элементный состав угля, используемого в расчете

С ^p ,%	Н ^p ,%	Н ^p ,%	О ^p ,%	SP _k ,%	SP _{op} ,%	А ^p ,%	W ^p ,%	Σ, %	Q ^p _n , ккал/кг
57,64	4,58	0,72	6,87	1,25	0,77	18,07	10,1	100	5324

Тепловой расчет показал, что при повышении концентрации кислорода в воздухе происходит увеличение объёмных долей и, соответственно, парциальное давление трёхатомных газов и водяного пара в уходящих газах, из-за снижения парциального давления азота при постоянном давлении выходных газов.

По мере снижения температуры, объёма и энтальпии дымовых газов снижает расход теплоты с уходящими газами q_2 . Со снижением теплопотерь q_2 повышается КПД котла. Положительный эффект наблюдается во всем диапазоне повышенной концентрации O_2 , но экспоненциальное уменьшение объема азота при постоянном объеме кислорода вызывает неравномерный рост КПД котла. Так с увеличением содержания кислорода до 22%, КПД увеличивается на 0,019 %, 22–23% – на 0,017% с последующей экспонентой.

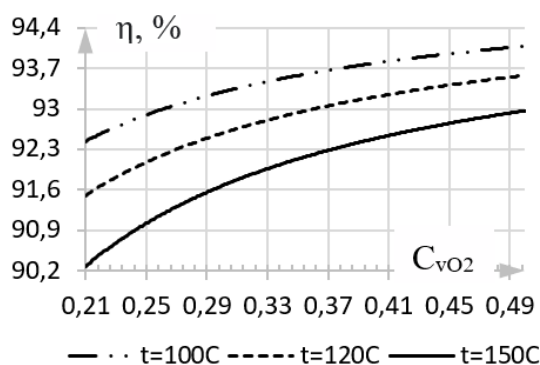


Рисунок 1 – Зависимость КПД котла от концентрации кислорода в дутьевом воздухе

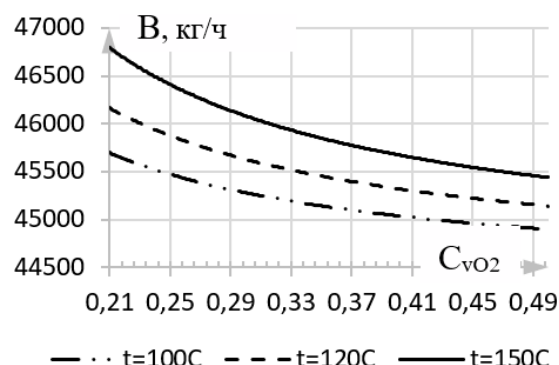


Рисунок 2 – Зависимость расхода топлива от концентрации кислорода в дутьевом воздухе

Наиболее заметный рост эффективности, который можно увидеть из графика зависимости КПД от концентрации кислорода, встречается в диапазоне 21–30% концентрации кислорода в дутьевом воздухе, в дальнейшем повышение КПД значительно снижается.

Теоретический анализ процесса сжигания углерода показал, что процесс проходит в несколько этапов, которые можно описать следующим образом: прогрев частиц пыли, выход летучих веществ, воспламенение летучих веществ и их сгорание, сжигание углерода. Сегодня каждый из этих этапов разделяется на более мелкие ступени и их количество может достигать до 11. Но нас в первую очередь интересует стадия воспламенения и горения летучих веществ. Чем раньше пройдет воспламенение летучих, тем больше времени останется у частиц угольной пыли, чтобы сжечь содержащийся в них углерод во время пребывания в топке. Потому что для сжигания углерода требуется высокая температура, которая имеет место только в топке. Задержка воспламенения летучих зависит от скорости диффузии кислорода к частице пыли через балласт в подаваемом воздухе – азот. Чем ниже содержание азота, тем быстрее происходит воспламенение летучих, что приводит к увеличению глубины выгорания углерода. В результате, за счет обогащения кислородом дутьевого воздуха, мы можем снизить потери со шлаками q_6 и механической неполнотой сгорания q_4 в тепловом балансе, благодаря этому еще больше поднять эффективность.

Обогащение дутьевого воздуха кислородом приводит к ряду изменений в работе теплогенерирующих устройств, в частности, парогенераторов на твердом топливе.

Изменяется состав среды топки и ее теплофизические характеристики, а также количество дымовых газов нагрев поверхностями экрана топки и падение температуры дымовых газов на выходе из топки.

Уменьшение количества дымовых газов приводит к уменьшению их скорости в конвективных поверхностях, что уменьшает долю конвективного теплообмена в общем теплообмене в воздухонагревателе и экономайзере. При этом температура на выходе из котла должна была быть, на более-менее постоянном уровне, но увеличение степени черноты дымовых газов из-за возрастания объёмной доли трёхатомных газов и водяного пара всё-таки приводят к ее уменьшению на выходе из котла.

Обогащение кислородом вдуваемого воздуха позволяет значительно уменьшить избыток воздуха (возможно, даже отказаться от него).

Уменьшение количества азота приводит к уменьшению энтальпии дымовых газов на выходе из котла.

Все эти факторы однозначно приводят к значительному снижению потерь q_2 с дымовыми газами в тепловом балансе котла, и снижению расхода топлива с 45700 кг/ч при не обогащенном топливе до 44900 кг/ч при обогащении кислородом дутьевого воздуха до 50%.

Есть еще некоторые моменты, которые не учитываются в общем анализе. Это очевидное снижение потребления электроэнергии на привод тягодутьевых машин, связанное с уменьшением объема вдуваемого воздуха и дымовых газов, а также на привод угольных мельниц и систем подачи угольной пыли в котельную печь за счет снижения расхода топлива.

В целом можно сказать, что кислородное обогащение дутьевого воздуха является перспективным методом повышения энергоэффективности твердотопливных теплогенерирующих установок, которые находятся в эксплуатации в настоящее время без существенных изменений в конструкции котлов.

Экономический эффект в пылеугольных котлах также достигается за счёт снижения расхода природного газа на подсветку факела.

ЛИТЕРАТУРА

1. 2050 Long-Term Strategy | Climate Action.
2. Яковлев В. Б. К истории бессемерования штейнов // Вопросы истории естествознания и техники. — 1957. — № 3.
3. M.W. Ackley Medical Oxygen Concentrators: a Review of Progress in Air Separation Technology Springer US (2019).
4. H. Stadler, F. Beggel, M. Habermehl, B. Persigehl, R. Kneer, M. Modigell, P. Jeschke Oxyfuel coal combustion by efficient integration of oxygen transport membranes Int. J. Greenh. Gas Control, 5 (2011).

СПОСОБЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ БИОКОМПСТИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Самым распространенным способом обращения с отходами является их захоронение или складирование на соответствующих полигонах (накопителях). Этот способ является наиболее дешевым, однако удаляемые таким образом отходы десятки лет не подвергаются разложению, и, следовательно, проблема их уничтожения просто переносится во времени.

Производственные отходы, содержащие преимущественно органические вещества, образуются на предприятиях нефтеперерабатывающей, целлюлозно-бумажной, пищевой, деревообрабатывающей и других промышленности.

Повышенное содержание органических веществ природного и искусственного происхождения определяет специфику методов их переработки.

Основными направлениями использования отходов с высоким содержанием органических веществ являются:

- прямое сжигание отходов с целью получения тепловой и электрической энергии;
- производство твердого топлива (брикеты, топливные гранулы, пеллеты);
- производство газообразного (синтез-газ, водород, метан) и жидкого (этиловый, метиловый спирты, биодизель) биотоплива;
- производство высокоэффективного органического удобрения (компост).

Все чаще, для переработки органических отходов используется компостирование.

В результате компостирования отходы становятся безвредными для окружающей среды и получают такие продукты, как органические удобрения, почвоулучшающие добавки. Способствуют этому процессу микроорганизмы, для которых является приемлемой средой та, которая обеспечивается в процессе компостирования.

Применение компоста способствует улучшению дренажных свойств почвы, а также ее способности к поглощению влаги, улучшению ее плодородия.

Недостатком компостирования отходов является большая продолжительность процесса. Поэтому актуальным является поиск спо-

собов интенсификации компостирования.

Существуют различные методы интенсификации биотермического разложения отходов: введение биогенных добавок, инокуляция адаптированных штаммов микроорганизмов, корректировка объемного соотношения компонентов, оптимизация состава и среды, комбинация различных методов аэрации.

Целью выполняемой нами работы являлось проведение сравнительного анализа веществ по их способности ускорять процесс разложения органических отходов, а именно целлюлозосодержащих отходов.

Объектами исследований в работе являлись компосты, полученные при биокомпостировании отходов (женьшеня, лопуха, ромашки, мать-и-мачехи, череды) и различные смеси данных отходов в разных соотношениях.

Для изучения способности объектов исследования ускорять компостирование целлюлозосодержащих отходов использовали метод, основанный на установлении степени разложения целлюлозы.

Всего было проанализировано 29 вариантов интенсификации биоразложения целлюлозосодержащих материалов. В ходе исследований установлено, что:

– Наибольшая степень разложения целлюлозы (97%) наблюдалась в пробе, в которой в качестве ускорителя использовали компост, полученный при компостировании отхода череды.

– Хорошие результаты получены в пробах с использованием компостов из отхода корня лопуха. Степень разложения целлюлозы составляла 42-83%. Причем замечено, что при использовании отхода корня лопуха в смеси с другими отходами приводило к уменьшению степени разложения целлюлозы. Этот показатель уменьшался при увеличении разбавления отходов лопуха другими отходами. Например, при использовании смеси отходов корня лопуха после масляной экстракции, корня женьшеня после пропиленгликолевой экстракции, соцветий ромашки после пропиленгликолевой экстракции и опилок - степень разложения целлюлозы составила 17 %.

– Худший результат получен при применении компоста из смеси отходов корня лопуха, корня женьшеня, соцветий ромашки без структурообразующей добавки. Степень разложения целлюлозы составила 5 %.

Результаты исследований свидетельствуют о перспективности использования компостов, полученных из отходов растительного сырья для ускорения биоразложения целлюлозосодержащих отходов.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗДЕЛЬНОМУ СБОРУ, СОРТИРОВКИ И ПЕРЕРАБОТКИ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ТБО Г. ДУШАНБЕ)

Аннотация. В статье проанализированы основные подходы к раздельному сбору, сортировке и переработке ценных компонентов твердых бытовых отходов (ТБО), дана оценка морфологическому составу полигона ТБО г. Душанбе в качестве вторичных ресурсов по технологическим, экологическим и экономическим критериям.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, сбора, сортировка, переработка, организаций, управления.

RECOMMENDATIONS FOR SEPARATE COLLECTION, SORTING AND PROCESSING OF VALUABLE COMPONENTS OF SOLID WASTE (ON THE EXAMPLE OF MSW IN DUSHANBE)

Annotation. The article analyzes the main approaches to the separate collection, sorting and processing of valuable components of municipal solid waste (MSW), assesses the morphological composition of the solid waste landfill in Dushanbe as secondary resources according to technological, environmental and economic criteria.

Key words: solid household waste, collection, sorting, processing, organizations, management.

Проблема сбора, хранения, транспортирования и утилизации твердых бытовых отходов (далее ТБО) является важнейшей экологической проблемой, связанной с загрязнением природной среды [1-3]. Это назревшая актуальнейшая проблема, стоящая перед крупными городами мира, в том числе для г. Душанбе.

Из всех известных методов утилизации компонентов ТБО является селективный сбор с последующей ее переработкой [4].

Одной из наиболее распространенных в практике экспериментов по селективному сбору ТБО является: организационные работы с населением, планирование, маркетинговых исследований рынков сбыта вторичного сырья, осуществляющих организаций по сортировку и перевозку ТБО, промышленную переработку и отправки готовой продукции потребителям.

На самом деле планирование по внедрению раздельного сбора ТБО в г. Душанбе следует начинать с наличия свободных рынков сбыта каждого вида вторичных ресурсов из ТБО. Затем надо организовать производства первичной обработки и предпродажной подготовки вторичного сырья. Только после этого имеет смысл начинать

установку специализированных контейнеров в домовладениях и организация производства.

Согласно экспериментальным исследованиям на территории г. Душанбе в площадках сбора бытового мусора чаще всего встречается пищевые отходы, полиэтиленовые пакеты, пластиковые бутылки, битое стекло, растительные отходы (до 76%), металлы (до 20% - консервные банки, металлическая посуда, остатки бытовой техники и радио-телеаппаратуры) и строительные материалы [2, 5].

Изучение морфологического состава ТБО осуществляли отбором с полигона и из пункта сбора мусора домовладений г. Душанбе за период 2010-2017 годы.

Морфологический состав ТБО изучали по утвержденным методикам ПНД Ф 16.3.55-08. «Методика определения морфологического состава твёрдых отходов производства и потребления гравиметрическим методом». В работе также применялся визуальный метод полевых исследований на полигоне ТБО г. Душанбе.

По результатам исследований, можно отметить, что для морфологического состава ТБО характерно не только увеличение количества её образования, но и усложнение его качественного состава вследствие ежегодно поступления в морфологический состав ТБО новых веществ и материалов. Данные по динамике морфологического состава ТБО, поступающего на полигон г. Душанбе представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Динамика средних значений компонентного состава ТБО летно-осенних сезонов (весовые, %)

№	Компоненты	2015 г.	2016 г.	2017 г.
1.	Бумага, картон	6.5	7.0	7.2
2.	Листья, древесина	2.8	3.1	3.2
3.	Резиновые и отходы из кожи	2.4	2.1	1.8
4.	Пластмассы, целлофановые пакеты	9.3	8.7	9.5
5.	Стекло и керамика	8.4	8.5	8.2
6.	Пищевые и растительные отходы	55.32	54.81	52.35
7.	Металл	5.15	5.23	6.95
8.	Текстиль	2.5	2.8	2.3
9.	Электронные отходы	2.12	2.19	2.25
10.	Прочие фракции	5.51	5.57	6.25
	Итого:	100	100	100

Как видно из таблицы 1, морфологический состав ТБО г. Душанбе в летно-осенний период на 54.16 % образован пищевыми отходами, на 6.9 % - бумагой, на 8.3 % - стеклом, на 9.16 % - пластмассы и целлофановые пакеты и на 8.36 % - строительные материалы. Прочие фракции составила 5.77 %. Преобладают как вторичных ресурс в весовом отношении следующие компоненты ТБО: бумага и картон, полимерные материалы, резин и кожи, стекло, металлы, текстиль, элек-

тронные отходы, доля которых составляют 38.2% в общей массе. Поэтому, целесообразно в первую очередь искать рынков сбыта именно этих видов вторичного сырья.

Первой очередностью применения раздельного сбора отходов от населения успешнее может быть применено в тех домах, где отсутствует мусоропровод. На каждую контейнерную площадку рекомендуется разрабатывать «Технический паспорт объекта», а конструкции контейнеров для селективного сбора отходов должны удовлетворять ряду требований:

- раздельный сбор отходов осуществляется с помощью различных контейнеров, каждый из которых предназначен для отдельных видов отходов.

- объем контейнеров на каждой площадке для сбора вторичных ресурсов должен быть достаточно большим (объемом 1.1-1.5 м³), чем объем контейнеров для прочих отходов;

- контейнеры должны быть механически устойчивый, предотвращающими горение, не теряющими привлекательности в течение долгого времени.



- на контейнеры необходимо наносить надписи, обозначающие, что в них надо складывать.

Цвета всех контейнеров для селективного сбора ТБО должна быть разными и отличаться от окраски контейнеров для обычного мусора. В информационно-рекламных мероприятиях следует рекламировать эти цвета.

По нашему предложению цвета контейнеров для раздельного сбора являются универсальными и цветов контейнеров представлены в таблице 2. По данным таблицы 2 можно сделать вывод, что необходимое количество контейнеров для раздельного сбора ТБО достаточно велико. Поэтому в настоящий момент в г. Душанбе не применяется данного способа сбора вторичного сырья. Внедрение селективного сбора отходов является длительным процессом и её экономической эффективности следует считать, что на первом этапе эта величина могут составлять до 10% от объема всех отходов, с последующим ростом до 70-75% по объему. Для расчета экономического эффекта от селективного сбора отходов необходимо учесть: доходы компании от реализации вторичного сырья, снижения бюджетных расходов города на транспортирование отходов до полигона ТБО, организации новых производства продукции и рабочих мест, а также избежание экологических платежей за загрязнение природной среды [4, 6]. Нужно отметить, что в сфере обращения с отходами ТБО необходима разработка экологически ориентированных модель управления ТБО с одновременным решением экономических задач. Предложенные нами модель

«Системы управления ТБО» рассматривать как рекомендации для создания самостоятельной системы управления отходами.

Таблица 2 – Значение цветов контейнеров для раздельного сбора отходов

Цвет для контейнеров	Тип отходов
	Красный
	Фиолетовый
	Оранжевый
	Жёлтый
	Зелёный
	Коричневый
	Чёрный

Эта модель имеет возможность организовать между городов и районов Компанию по управлению отходами ТБО, занимающуюся эксплуатацией предприятий по переработке и утилизации ТБО, полигона захоронения ТБО, службы сбора и транспортировки, планирования и административного управления. Компания может быть организована как государственная, частная фирма и смещенная [4]. Разрабатываемая нами схема комплексного система сбора, сортировки (вторсырья) и переработки отходов на примере управления ТБО г. Душанбе по критериям ресурсосбережения и экологической безопасности (на основе разделения отходов) приведена на рисунке 1.

ВЫВОДЫ

1. Таким образом, 75-85% морфологического состава ТБО представляют собой потенциальное сырье для вторичного использования в промышленности (35-40%) и компостирования (45-50%).

2. Рекомендована эффективная система и схема менеджмента ТБО, с учетом раздельного сбора, сортировки и переработки, на основе создания Компанию по управлению отходами ТБО. Это даёт возможность определить перспективу развития инфраструктуры города и предприятий коммунального хозяйства в части утилизации и переработки бытовых отходов.

3. Внедрение раздельного сбора ТБО позволит, снизит затраты на транспортировку отходов до полигона ТБО и связанные с ними другие социально-экономические проблемы. Отходов для компостирования и сжигания позволяет снизить количество захораниваемых отходов на полигоне до 50% от исходного.



Рисунок 1 - Схема комплексной системы сбора и сортировки ТБО (вторсырья) на переработку на примере управления ТБО г. Душанбе

Такой комплексный подход дает возможность продлить срок эксплуатации полигона ТБО в г. Душанбе, сберечь ресурсы и уменьшить техногенную нагрузку городского коммунального хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обращение с отходами в г. Душанбе. Состояние, проблемы и пути их решения. Душанбе: изд-во «Регионального бюро UNEP для Европы». 2017 г. 39-64 с.
2. Бобоев Х.Б., Назаров Ш.Б., Насруллоев Ф.Х. Анализ существующей ситуации в обращении с промышленными и твердыми бытовыми отходами в Республике Таджикистан //Известия АН РТ. №1(174). 2019, с. 151-157.
3. Ba M.T. Effects of ac frequency on the physicochemical characteristics of water / Ba M.T., Azimov D.S., Knyazev A.S., Ivakhnyuk G.K. // Key Engineering Materials. 2017. Т. 743. С. 326-330.
4. Манохин М.В. Проблема обращения с ТБО на примере города Воронежа / М.В. Манохин, И.А. Иванова, В.Я. Манохин // Обеспечение безопасности в ЧС: материалы IX междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, декабрь 2013 г. - Воронеж, 2013. с. 203-211.
5. Азимов Д.С. Применение активного ила на основе осадков сточных вод в виде сырья для производства удобрений /Азимов Д.С., Ниёзов Ф.Р. // В сборнике: ДАЛЬНЕВОСТОЧНАЯ ВЕСНА - 2021. Материалы 19-й Международной научно-практической конференции по проблемам экологии и безопасности. Комсомольск-на-Амуре, 2021. С. 157-159.
6. Петров, В.Г. Линии сортировки мусора. Перспективы применения, Института прикладной механики УрО РАН, Ижевск, 2005, 112 с.

УДК: 547.371:547.372

Ж.В. Вахобов, магистр; Ф.Э. Умиров, проф., д-р техн. наук
(Навоийский ГГИ, г. Навои, Республика Узбекистан)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЫ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

В настоящее время в мире, в окружающую среду сбрасывается огромное количество бытовых, сельскохозяйственных и промышленных сточных вод. Бережное обращение с водными ресурсами и переработка воды, сокращение сброса сточных вод промышленных предприятий и увеличение степени их очистки, является основной проблемой удовлетворения потребности промышленности и сохранения хрупкой экосистемы.

Большое количество загрязняемой воды можно сохранить с помощью специальных мероприятий. Существует возможность изменения технологических процессов очистки оборотной воды и создать замкнутые системы оборотного водоснабжения.

В горно-металлургической промышленности используют: технологическую, оборотную и последовательно используемую воду, которая расходуются поочередно в нескольких производственных процессах без промежуточной обработки.

Применение природных минералов при очистке сточных вод приемлемо с экологической и экономической точки зрения, но зачастую такие материалы не обладают нужными сорбционными свойствами и их необходимо химически модифицировать. В результате модифицирования получают сорбенты с отличной от исходного минерала природой поверхности и сочетающие в себе полезные свойства исходного материала и синтетических сорбентов.

Как известно при очистке сточных вод минералы доломит, сапонит, базальтовое волокно, бентонит, уголь, стекловата, войлок из овечьей шерсти, измельченный жженный кирпич и дефекаат - отход сахарного производства может быть использован в качестве адсорбента. Нами при выполнении исследований по очистке сточных вод данные сорбенты были активированы физическими и химическими способами. На основании полученных результатов была составлена технологическая схема, при использовании которой сначала применяется метод обессоливания воды, затем пропускание через композиций природных сорбентов, при применении которых была получена достаточно чистая вода, не уступающая по своим качествам технологической воде.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ЧЕЛОВЕКА И ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ

В статье рассматриваются основные воздействия продуктов работы двигателей внутреннего сгорания на окружающую среду.

Ключевые слова: воздействие, вещества, группа

Воздействие автомобильного транспорта на окружающую среду (ОС) сопровождается не только потреблением природных ресурсов, но и сокращением мест обитания и гибелью живых организмов и человека. Согласно статистики в дорожно-транспортных происшествиях в мире ежегодно погибает около 250 тыс. человек и ещё около 10 млн. человек получают различные травмы. В нашей стране автомобильный транспорт вносит значительный вклад в загрязнение ОС, выбрасывая с отработавшими газами (ОГ) до 61,5% токсичных веществ, выделяемых в атмосферу, [1], в то время как на долю остальных антропогенных источников загрязнения, приходится 38,5% от общего выброса загрязняющих выбросов в атмосферу [3]. Удельный же вес поршневой энергетики в мире в целом составляет 80-85% от всех энергетических средств, включая газовые турбины, атомную энергетику и т.д. [1, 3, 4].

Высокий уровень загрязнения ОС автомобильным транспортом в настоящее время обуславливается не только резким ростом его численности, но также и тем, что во многих случаях не используются эффективные средства снижения токсичности ОГ или отсутствует контроль за исправностью и техническим состоянием транспортных средств. Общее количество компонентов в ОГ насчитывает по разным оценкам от 200 до 1200 веществ и химических соединений в твёрдом, жидком и газообразном состоянии, например, диоксины которые входят в состав "грязной дюжины" – группы опасных химических веществ, известных как стойкие органические загрязнители. [1]. Попав в организм человека, диоксины (*тетрахлородибензо пара диоксин*) долгое время сохраняются в нем благодаря своей химической устойчивости и способности поглощаться жировыми тканями, в которых они затем откладываются. Период их полураспада в организме оценивается в 7-11 лет. По химическому составу и свойствам, а также характеру воздействия на организм человека их объединяют в группы (табл.1.3.) [1, 3].

Таблица 1 - Состав отработавших газов ДВС [81, 97]

Двигатели	Состав отработавших газов, %							
	N ₂	O ₂	H ₂ O пар	CO ₂	CO	N _x O _y	C _n H _m	Сажа
Бензиновые	74-77	0,3-0,8	3-5,5	5-12	5-10	до 0,8	0,2-3	до 0,4
Дизельные	76-78	2-18	0,5-4	1-10	0,02-5	до 0,5	до 0,5	до 1,1
Состав выброса, %	75	3	5	11	5	0,15	0,5	
Масса выбросов при пробеге 15000 км за год	15 т	0,6 т	1 т	2,3 т	1 т	30 кг	100 кг	

Вредному воздействию от продуктов сгорания топлива подвержены все виды живых организмов, в том числе микроорганизмы и растения, однако особенно велика опасность для высокоразвитых живых организмов, поскольку вредные газообразные вещества через систему дыхания попадают непосредственно внутрь их организма и достаточно эффективно задерживаются там [5] эти вещества можно разделить на несколько групп.

Первая группа. В нее входят нетоксичные вещества: азот, кислород, водород, водяной пар, углекислый газ и другие естественные компоненты атмосферного воздуха. В этой группе заслуживает внимание углекислый газ (CO₂).

Вторая группа. К этой группе относится только одно вещество – оксид углерода, или угарный газ (CO).

Третья группа. В ее составе оксиды азота, главным образом NO – оксид азота и NO₂ – диоксид азота.

Четвертая группа. В эту наиболее многочисленную по составу группу входят различные углеводороды, то есть соединения типа C_nH_m. В отработавших газах содержатся углеводороды различных гомологических рядов, всего около 160 компонентов. Они образуются в результате неполного сгорания топлива в двигателе.

Особой канцерогенной активностью отличается ароматический углеводород бенз(а)пирен C₂₀H₁₂, содержащийся в отработавших газах бензиновых двигателей и дизелей.

Пятая группа. Ее составляют альдегиды – органические соединения, содержащие альдегидную группу, связанную с углеводородным радикалом (CH₃, C₆H₅ или др.).

В отработавших газах присутствуют в основном формальдегид, акролеин и уксусный альдегид.

Шестая группа. В нее выделяют сажу и другие дисперсные частицы (продукты износа двигателей, аэрозоли, масла, нагар и др.).

Седьмая группа. Представляет собой сернистые соединения – такие неорганические газы, как сернистый ангидрид, сероводород, которые появляются в составе отработавших газов двигателей

Вредное воздействие на экосистемы отработавших газов двигателей увеличивается с ростом объёма движения, при этом их токсичные компоненты могут накапливаться в окружающей природной среде.

Одним из наиболее реальных вариантов снижения вредного воздействия ОГ в городах с большим количеством автомобильного транспорта может быть введение так называемых экологических зон (районов) движение в которых будет возможно только на электро-транспорте или на транспортных средствах приводимых в действие мускульной силой.

Для автотранспорта обслуживающего находящиеся в данных районах предприятия есть необходимость введения жестких экологических норм и ограничения времени нахождения в районе с работающим двигателем внутреннего сгорания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белстат / Главная / Официальная статистика / Многоотраслевая статистика <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/>
2. Дьяков С.А. Диагноз и прогноз уровня загрязнения атмосферы / С.А. Дьяков: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Воронеж: ВВАИИ, 2004, – 24 с.
3. Луканин В.Н., Буслаев А.П., Трофименко Ю.В., Яшина М.В. Автотранспортные потоки и окружающая среда. Учебное пособие для вузов / Под ред. В.Н. Луканина. – М.: ИНФРА-М, 1998. – 408 с.
4. Лаппо Г.М. География городов. Учебное пособие для географических факультетов вузов. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1997. – 480 с.
5. Арутюнов О.С. Организация контроля за технологическими выбросами, загрязняющими атмосферу. М.: Транспорт, 1978, с. 3-11.

**ПРИРОДООХРАННАЯ BIOTEХНОЛОГИЯ:
РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ
УГЛЕВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД**

Влияние антропогенного фактора на биосферу Земли привело к попаданию в атмосферу, воду и почву загрязняющих веществ и токси-кантов, изменению химического состава объектов окружающей среды и, как следствие, к деградации экосистем и глобальному экологическому кризису.

Улучшение состояния окружающей среды требует согласованно-го взаимодействия человеческого общества с природой и существен-ных экологических знаний.

Одним из опаснейших загрязнителей окружающей среды счита-ются сточные воды, поскольку они взаимодействуют с воздухом и поч-вой, являются источником токсичных компонентов. Сложнее подвер-гаются очистке углеводородсодержащие сточные воды, содержащие нефтепродукты, которые сложно выделить из воды.

На каждом предприятии пищевой промышленности в результате мойки оборудования, автомобильных цистерн, попадании технических масел в воду образуются нефтесодержащие сточные воды. Также мощ-ным источником таких стоков на пищевых предприятиях может быть обычно достаточно обширное автомобильное хозяйство, которое пред-назначено для перевозки животного и растительного сырья, вспомога-тельных материалов и, конечно же, продуктов производства.

Для очищения данной категории стоков используют в основном механические и физико-химические способы [1, 2]. Поскольку нефте-продукты в сточных водах находятся в растворенном виде или эмуль-сированном состоянии, это не позволяет в полной мере решить про-блему удаления таких загрязнений из них. Поэтому, с целью обеспече-ния выполнения требований стандарта по качеству воды, необходимо использовать биохимическую очистку, ведь в таких стоках содержатся легкие фракции нефти, а именно бензин, керосин, дизельное топливо, уайт-спирит, лигроин [3].

Для очистки углеводородсодержащих сточных вод используют комбинированные установки, выполняющие функции аэротенка и вто-ричного отстойника, аэроакселератора, оксидатора, реактиватора, в ко-торых сочетаются в различных комбинациях процессы аэробного био-химического окисления, биокоагуляции, отстаивания и тому подобное [4, 5].

Само же биохимическое окисление загрязнений углеводородсодержащих сточных вод зависит от способности их подвергаться окислению.

В процессе исследования были определены основные показатели загрязненности нефтесодержащих сточных вод типичного представителя молокоперерабатывающей отрасли пищевой промышленности, которые показали, что данные стоки пригодны для биохимической очистки, а именно: концентрация нефтепродуктов – 80 мг/дм³, БСК₅ – 130 мг О₂/дм³, ХСК – 300 мг О₂/дм³, взвешенные вещества – 125 мг/дм³, рН 6,9, азот аммонийных солей – 36 мг/дм³, нитриты – 0,30 мг/дм³, нитраты – 0,25 мг/дм³.

Согласно результатам проведенных анализов соотношение БСК₅/ХСК составляет 0,43, что свидетельствует о возможности частичной деструкции организмами активного ила загрязнений углеводородсодержащих сточных вод.

Процесс аэробной очистки углеводородсодержащих сточных вод осуществляли в лабораторной установке – блоке биохимической очистки, состоящей из пенотенка и аэротенка-осветителя объединенных в одном корпусе.

Пенотенк используется для насыщения сточной воды кислородом и извлечения углеводородсодержащих загрязнений из воды активным илом за счет адсорбции. Корпус пенотенка условно поделён на 5 зон (1 зона (верхняя) – место впуска свежих порций сточной воды, 5 зона (нижняя) – место выпуска воды в зону аэротенка-осветителя), на уровне которых производился забор проб для исследования динамики показателей очистки стоков. Итак, проведено измерение концентрации кислорода, растворенного в иловодяной смеси, а также концентрации загрязнений по БСК₅ в отстоянных пробах, отобранных на тех же уровнях.

Таблица – Распределение концентраций О₂ и БСК₅ по высоте пенотенка

Зона пенотенка	Концентрация кислорода, мг/дм ³ (Т = 18,5 °С)	Концентрации загрязнений по БСК ₅ , мг/дм ³
1 (верхняя)	0,70	130
2	3,60	113
3 (средняя)	6,50	100
4	8,20	75
5 (нижняя)	8,35	70

Результаты свидетельствуют о том, что иловодяная смесь, выходящая из пенотенка в аэротенк-осветитель, практически насыщена кислородом, а загрязнение по БСК₅ в сточной воде частично перемещены из жидкой фазы непосредственно на хлопья активного ила, который поступает эрлифтом из зоны взвешенного слоя аэротенка-осветителя

обратно в пенотенк. Несомненным также является тот факт, что некоторая часть загрязнений, находящихся в растворенной фазе и легко окисляющихся, используются организмами активного ила в качестве питательных веществ.

Иловодяная смесь, насыщенная кислородом в пенотенке, требует меньшей продолжительности пребывания в аэротенке-осветителе, за счет чего достигается высокая эффективность очистки сточной воды при меньшем времени ее обработки.

Взвешенный слой в аэротенке-осветителе является не только зоной разделения иловодяной смеси, но и реактором окисления.

Зона размещения ламинаризаторов (над взвешенным слоем) обеспечивает, с одной стороны, повышение эффективности освещения очищенной воды, а с другой – стабилизирует работу установки при динамических нарушениях, в чем и состоит их главное предназначение.

Полное биохимическое окисление органических соединений, их минерализация с образованием неорганических веществ достигается в результате ряда последовательных реакций – биохимических превращений или трансформаций. Скорость деградации углеводов нефти оценивается только с учетом особенностей метаболизма представителей сложноорганизованных биосообществ – активного ила, а не отдельных видов организмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондар О.А., Нікітін Г.О., Шевченко Л.Ю., Шевченко О.Ю. Технологічні аспекти процесів очищення стічних вод промислових підприємств, що містять нафтопродукти та поверхнево-активні речовини // Харчова промисловість. – 2007. – № 5. – С. 53 – 55.
2. Халилова Х.Х., Мамедов М.К. Способ очистки воды от нефтяных загрязнений. – Химия и технология воды, 2008. – Т. 30. – № 3 – С. 339 – 344.
3. Канский А. Б. К вопросу о повышении эффективности очистки воды от масел и нефтепродуктов в производственных водоемах / А. Б. Каннский // Промышленная энергетика. – 2009. – № 1. – С. 19 – 21.
4. Куприенко П.И. Все об очистке сточных вод // Водоподготовка. – 2005. – № 2 – С. 29 – 37.
5. Семенова О.І., Бублієнко Н.О., Ткаченко Т.Л., Говоруха Т.О. Очищення стічних вод, що містять нафтопродукти // Наукові праці НУХТ. – 2012. – № 42. – С. 53 – 60.

УДК 595.799+595.422

Е.А. Флюрик, доц., канд. биол. наук (БГТУ, г. Минск);
К.Д. Манулик, учащийся 10 «В» класса;
Л.Г. Григорьева, учитель биологии высшей категории
(ГУО «Гимназия №146 г. Минска», г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ БОРЬБЫ С КЛЕЩЕМ *VARROA DESTRUCTOR*

Каждый пчеловод рано или поздно сталкиваются с серьезной проблемой – заражение пчел паразитическим клещем *Varroa destructor* [1]. Это членистоногое (рис.) наносит огромный вред пчеле медоносной (*Apis mellifera*) и ее личинкам и даже может привести к гибели пчелиной семьи.

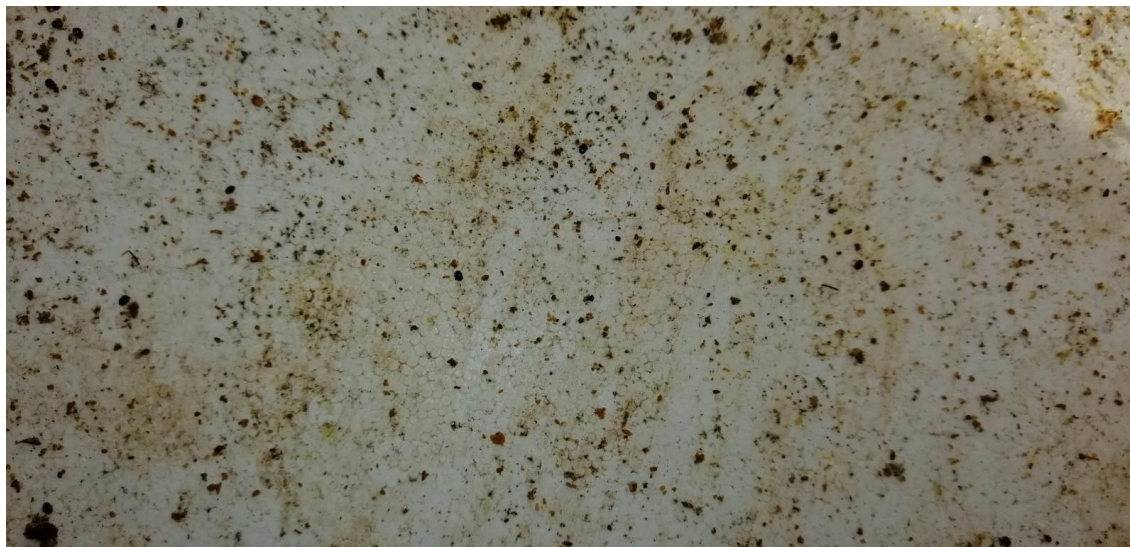


Рисунок – Клещи, удаленные из ульев

Существуют различные физические, химические и натуральные методы борьбы с клещом [2]. Однако физические и химические методы отрицательно влияют как на саму пчелиную семью (если семья слабая, то использование данных методов может привести к ее гибели), так и на качество получаемого меда (вещества химические из препаратов могут попасть в мед, что не допустимо). Натуральные методы не наносят вреда пчелам, могут использоваться в любое время года и достаточно эффективны [3, 4].

Поэтому в настоящее время в литературе, для борьбы с вредителем, предлагается использовать различные растительные экстракты, так как данный способ является более щадящим. Проведя литературный обзор, имеющейся в открытом доступе научной литературы, были отобраны растения, которые оказывают губительное влияние на данных паразитов. В качестве объектов для дальнейшего исследова-

ния выбрали пихту сибирскую (*Abies sibirica*) и укроп пахучий (*Anethum graveolens*).

В результате литературного поиска было установлено, что экстракт укропа пахучего (на водяной или масляной основе) оказывает парализующий эффект на клеща, захват ослабевает и клещ просто падает с пчелы. Необходимо правильно подобрать концентрацию укропа в экстракте, так как эффект в таком случае будет продолжаться в течение достаточного количества времени, которое требуется для гибели клеща. Однако это сделать довольно сложно. Установлено, что запах укропа может вызвать раздражение у пчел, что в худшем случае может привести даже к гибели пчелиной семьи. Поэтому к экстракту укропа необходимо добавить вспомогательное вещество, например, экстракт мелиссы или пихты. Эти растения оказывают успокаивающий эффект на пчел, существует теория [5], что запахи этих веществ схожи с запахом маточного молочка (вещество, производимое пчелами, предназначенное для выкармливания пчелиного расплода и матки). Маточное молочко успокаивает пчел, смешав эти экстракты можно получить хорошее эффективное средство от варроатоза.

Исходя из выше изложенного, перед нами была поставлена следующая цель: в лабораторных и домашних условия приготовить препараты на основе настоев выбранных растений, провести обработку пчелиных гнезд, и определить эффективность действия препаратов.

Для достижения указанной цели были сформулированы следующие задачи.

1. Собрать и подготовить необходимое сырье для изготовления препаратов.
2. В домашних и лабораторных условиях приготовить препараты из растительного сырья.
3. Провести обработку пчелиных гнезд, пораженных клещом.
4. Проанализировать эффективность действия препаратов.

Экспериментальная часть работы была проведена на базе лаборатории кафедры биотехнологии БГТУ.

Семена и стебли укропа пахучего, иглы пихты сибирской собирали летом 2021 г. (Слущкий район, Минская область, д. Белая Лужа). Собранное сырье высушили на открытом воздухе под навесом (прямые солнечные лучи на сырье не попадали), хранили готовое сырье при комнатной температуре в темном сухом месте в бумажных пакетах.

В ходе литературного поиска, а также на основании собственных наблюдений, было установлено, что препараты на основе растительных экстрактов, а именно пихты сибирской и укропа пахучего

оказывают губительное действие на клеща. В домашних условиях готовили водные настои указанных растений, в лабораторных условиях использовали 40% водно-спиртовую смесь. Лабораторные препараты показали большую эффективность, однако время на их изготовление потребовалось больше и итоговая их стоимость выше. При обработке пчелиных гнезд было установлено, что препараты на основе растительного сырья не оказывают отрицательного действия на пчелу медоносную, в тоже время количество клещей существенно уменьшилось. Следовательно, препараты оказывают положительный эффект в борьбе с варроатозом.

Однако необходимо помнить, что этиловый спирт оказывает негативное влияние на пчел, поэтому наша дальнейшая работа будет направлена на удаление этилового спирта и получения либо сгущенного экстрактов, либо сухих порошков на основе отобранного растительного сырья.

Кроме того, будут проведены работы по разработке наиболее удобной для последующего использования формы препарата: лиофилизированный порошок, сгущенный экстракт, пропитка для деревянных поверхностей и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черник, М.И. Варроатоз – потенциальная угроза мировому пчеловодству / М.И. Черник // Экология и животный мир. – 2012. – № 1. – С. 34-40.

2. Гелеобразный состав с замедленным выделением и способ для борьбы с заражением семей медоносных пчел клещами: пат. RU 2225727, МПК А61К 47/00, А 01 N 37/02, 37/04, 65/00; заявл. 12.06.1997; опубл. 20.03.2004. URL: <http://patentimages.storage.googleapis.com/ea/e9/43/1dcb541ec4a3df/RU2225727C2.pdf> (дата обращения: 23.12.2021).

3. Гробов, О.Ф. Клещи: паразиты пчел и вредители их продукции / О. Ф. Гробов. – М.: [], 1991. – 22 с.

4. Амшеюс, А. Влияние препаратов растительного происхождения на клеща Варроа / А. Амшеюс. – Каунас: [], 2017. – 35 с.

5. Рецепт водяного экстракта из укропа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hozyain.by/paseka/vesennyaya-dezinfektsiya-na-paseke/>. – Дата доступа: 26.03.2019.

А.В. Артёмов, доц., канд. техн. наук; А.С. Ершова, асп.;
А.В. Савиновских, доц., канд. техн. наук;
В.Г. Бурындин, проф., д-р техн. наук
(УГЛТУ, г. Екатеринбург)

ОЦЕНКА БИОРАЗЛАГАЕМОСТИ ПЛАСТИКОВ БЕЗ СВЯЗУЮЩИХ НА ОСНОВЕ БИОМАССЫ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО

В последние годы в нашей стране актуальным является переработка растительных отходов и возможного включения их в хозяйствующих оборот в качестве дополнительного источника сырья. Интерес представляю порубочные остатки борщевика Сосновского – сорнякового и опасного растения, ареал обитания которого с каждым годом становится все больше и больше. Наиболее эффективным методом борьбы с данным растением является кошение (рубка), в результате которой образуются порубочные остатки, которые не находят применения и подвергаются сжиганию.

Большинство исследований по переработке растительных остатков, в том числе и биомассы борщевика, связано с получением различных изделий и материалов на их основе [1-3].

Проведённые ранние исследования [4] по биоразлагаемости лигноуглеводных материалов в виде пластиков без добавления связующих веществ, показали, что данные материалы сильно подвержены биологической деградации в естественных природных условиях.

Исходя из выше сказанного, в данной работе была поставлена цель – исследование биоразлагаемости пластиков без связующих (ПБС) на основе биомассы борщевика Сосновского и оценки возможного воздействия самих изделий и/или продуктов их деструкции на почвенно-растительный покров.

В качестве исходного сырья использовались растительные (порубочные) остатки (биомасса) борщевика Сосновского (*Heracleum Sosnowskyi Manden*). Фракционный состав пресс-сырья – 0,7 мм.

Морфологические и химические показатели исходного пресс-сырья представлены в таблице 1. По результатам выполненного химического анализа исходной биомассы борщевика Сосновского (таблица 1) можно косвенно судить о физико-механических свойствах полученных материалов, которые оказались приемлемыми для дальнейших испытаний [4].

Таблица 1 – Морфологические и химические показатели пресс-сырья

Сырье	Источник образования	Показатель, %		
		Лигнин (ГОСТ 11960)	Целлюлоза (Кюршнера-Хоффера)	Влажность (ГОСТ 16932)
Биомасса борщевика Сосновского (<i>Heracleum Sosnowskyi Manden</i>)	Порубочные остатки	26	34	12

Методом горячего прессования в закрытой пресс-форме были изготовлены образцы в виде дисков диаметром 90 мм и толщиной 2 мм. Условия прессования были приняты следующие: давление – 40 МПа; температура – 180 °С; продолжительность прессования – 10 мин; продолжительность охлаждения под давлением – 10 мин; продолжительность кондиционирования – 24 ч.

Оценка биостойкости материалов на основе ПБС проводилась по изменению массы и линейных размеров (толщины) образцов. Оценка влияния на почвенно-растительный покров осуществлялось по изменению рН почвы при экспозиции образцов ПБС.

Для депонирования образцов в почве, из полученных пластиков подготавливались образцы в виде квадратов 20 × 20 × 3 мм. Исследуемые образцы ПБС помещались в контейнер с грунтом на глубину от 5 см в горизонтальном положении. После внесения образцов в грунт, производилось его засевание семенами трав. Для засева использовалась следующая травосмесь (используемая для биологического этапа рекультивации нарушенных земель): кострец безостый – 40%, тимофеевка луговая – 10%, овсяница луговая – 10%, овсяница красная – 30 %, пырей ползучий – 10 %. В качестве почвогрунта был принят грунт для рассады (ТУ 0392-001-59264059-03). Перед началом испытания был определен рН исходной почвы (контроль). Время выдержки образцов в грунте при комнатной температуре (20 ± 2 °С) и влажности грунта 40 ± 5 % составило 90 суток. После выдержки образцов (7, 14, 21, 30, 60 и 90 суток), грунт с образцами изымался для определения его рН. Определение рН почвы осуществлялось согласно ГОСТ 26423-85 «Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки». Изъятые образцы из грунта, промывались и высушивались при комнатной температуре в течение суток. У высушенных образцов определялись масса и линейные размеры.

Результаты изменения массы и толщины образцов ПБС при их экспозиции в почвогрунте, а также изменения рН почвенно-растительного слоя представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний образцов

№	Показатель	Контроль	Продолжительность выдержки, сут					
			7	14	21	30	60	90
1	Масса (Δ , %)	-0,001	+16,0	-2,9	-14,2	-15,0	-24,3	-35,4
2	Толщина (Δ , %)	-0,02	+80,5	+90,7	+86,5	+121,0	+126,9	+103,1
3	pH	6,53	5,12	6,00	6,29	6,45	6,53	6,56

На основании таблицы 2 можно сделать следующие выводы:

1. Наблюдается начальное (в первые 7 суток) увеличение массы образцов ПБС, которое объясняется впитыванием материалом избыточной влаги из грунта. После первичного водонасыщения образцов наблюдается снижение массы образцов за счет своей деструкции. Это снижение наблюдается за все оставшееся время экспозиции. Снижение массы у образцов ПБС за 90 суток выдержки в почвогрунте составляет 35,4%.

2. Максимальное увеличение линейных размеров наблюдалось на 30 сут выдержки – 121,0 %. Дальнейшем наблюдалось уменьшение размеров за 90 суток экспозиции за счет расслоения и разрушения материала.

3. Изменение pH почвы при выдержке ПБС на основе борщевика обусловлено в первую очередь остаточным содержанием его сока, который содержит вещества из группы фуранокумаринов, имеющих значение pH близкого к кислой.

Таким образом, на основании выполненного исследования можно сказать, что ПБС, полученные на основе борщевика Сосновского и обладающих потенциалом к биоразложению, не следует рекомендовать для применения без дополнительных исследований по санитарным показателям.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках научного проекта "FEUG-2020-0013"

ЛИТЕРАТУРА

1. Чалганов, Д.К. Механические свойства термопластичных композитов на основе полиэтилена и древесно-растительных отходов / Д.К. Чалганов, А.А. Маркисанова // Материалы XXIV научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва : Материалы конференции. В 3-х частях, Саранск, 19–21 мая 2021 года / Сост. А.В. Столяров, отв. за выпуск П.В. Сенин. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2021. – С. 106-111.

2. Волкова, Е. Н. Борщевик Сосновского как сырье для перера-

ботки / Е. Н. Волкова // Развитие научного наследия великого учёного на современном этапе : Сборник международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию члена-корреспондента РАСХН, Заслуженного деятеля науки РСФСР и РД, профессора М.М. Джамбулатова, Махачкала, 17 марта 2021 года. – Махачкала: Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова, 2021. – С. 498-503.

3. Анатомические и структурно-морфологические характеристики борщевика Сосновского / А.В. Вураско, Д.И. Шестаков, А. Р. Минакова, В.П. Сиваков // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов : Материалы VI Международной научно-технической конференции, посвященной памяти профессора В.И. Комарова, Архангельск, 09–11 сентября 2021 года / Министерство науки и высшего образования и Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова». – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2021. – С. 56-61.

4. Бурындин, Б. Г. Изучение биоразлагаемости лигноуглеводных материалов / Б. Г. Бурындин, А. В. Артемов, А. В. Савиновских // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики : материалы XII Международной научно-технической конференции, Екатеринбург, 21 мая – 22 2019 года / Министерство науки и высшего образования РФ, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский государственный лесотехнический университет", 2019. – С. 467-470.

А.А. Ивашура, доц., канд. сельхоз. наук;
О.Н. Борисенко, доц., канд. техн. наук;
С.М. Логвинков, проф., д-р техн. наук
(ХНЕСУ им. С. Кузнеца, г. Харьков, Украина)

ФОРМИРОВАНИЕ ИНДИКАТОРОВ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

На сегодняшний день оценка устойчивости не охватывает все экологические, социальные и экономические факторы, влияющие на положительные и отрицательные воздействия производства. Так же имеются проблемы с отсутствием слаженности между экоинициативами и производственными структурами. Эти проблемы в свою очередь влияют на продвижение и внедрение конкретных природоохранных технологий и инвестиционных решений. Нет универсальности и в стандартах отчетности по устойчивому развитию предприятий. Нет информации по устойчивому потреблению. Показатели устойчивости предоставляют информацию об экологической, социальной и экономической политике, но не могут сравнить и сопоставить данные факторы [1].

Необходимо обеспечить целостный взгляд на деятельность предприятия и проблематику потребления для корректировки их воздействия на экономику и все заинтересованные стороны в устойчивой деятельности предприятия: партнерские компании, инвесторов, поставщиков, сотрудников, клиентов, потребителей. При этом, не забывая об окружающей среде и социальных аспектах.

Устойчивость производства можно определять индикаторами – набором показателей и оценок по всей цепочке создания стоимости компании. Индикаторы устойчивости компании так же включают в себя влияние ее технологических процессов, продуктов и услуг обеспечивая многовекторную перспективу своего воздействия [2].

Все эти показатели раскрывают взаимосвязь между производством, потреблением, экономикой и окружающей средой. С учетом данных показателей можно сформировать стратегию для устойчивого производства и потребления.

Основываясь на анализе эколого-экономической ситуации и выполнении обязательств по ЦУР, в частности ЦУР 12 [3], стратегия устойчивого производства и потребления может базироваться на 6 основных направлениях: углеродной нейтральности, устойчивом принятии решений в финансировании, увеличении доли экоинноваций, справедливой оценке неэкологичных товаров и ресурсов, внедрении

во всех областях устойчивого образования и активного международного сотрудничества в области экологической политики.

Как мы видим, просматривается четкая связь между производством, потреблением, устойчивостью и финансовыми показателями. К таким показателям необходимо отнести:

1. Экономическая ценность. Включает индивидуальный доход (прибыль компании), общественный доход (налоги), не прямые доходы (повышение производительности труда, сокращение общепроизводственных расходов).

2. Потребительская ценность. Включает все положительные преимущества товара или их соотношение (соотношение цена / качество, практическое и эстетическое удовлетворение).

3. Этическая ценность. Охватывает маркетинг, отраслевые стандарты, прозрачность бизнеса.

4. Экологическая ценность. Определяется энергоэффективностью, ресурсосбережением, возможностью переработки или утилизации отходов.

5. Социальная ценность. Включает достойные условия труда (технические, микроклиматические, экологические, медицинские, образовательные и др.), благосостояние сотрудников и опосредованное положительное влияние на все сообщество в целом.

6. Управленческая ценность. Определяется менеджментом. Охватывает моральный дух в коллективе, практику мотивирования сотрудников, справедливую корпоративную политику.

Любое производство имеет разнообразное экологическое, социальное, экономическое и другие воздействия, которые могут быть как положительными, так и отрицательными. Благодаря механизмам устойчивости мы можем измерить ценность продукции, технологии, производства. Благодаря устойчивости можно предвидеть не только результат от внедрения новых технологий или появления новых продуктов, но и оценить продукты уже имеющиеся на рынке. Такая оценка даст новые возможности, как продукту, так и бизнесу в сфере привлечения инвестиций, новых партнеров и потребителей. Сегодня именно осознанные потребители, которых с каждым годом становится все больше, являются тем контрольным звеном, которое определяет выгодность и целесообразность экологизации бизнеса и производства, его устойчивость [4].

Компании могут демонстрировать свою устойчивость путем показа преимуществ продукции по сравнению с аналогичной через собственные соответствующие информационные и образовательные программы, либо в содействии с партнерами. Возможно и обращение к

идеям устойчивого компромисса, когда приходится решать дилеммы сравнения ценности итогов, какого ни будь технологического процесса. Например:

– стоят ли средства, вкладываемые в сокращение выбросов, тех положительных эффектов, которые связаны со здоровьем;

– применить экологическую упаковку при транспортировке товара с некоторыми рисками, связанными с ее целостностью к механическим повреждениям, либо использовать менее экологическую упаковку с дальнейшей ее переработкой или безопасной утилизацией.

Устойчивость подходит для масштабов различных компаний, но если конечным звеном продукции является не потребитель, который так же является регулятором ее устойчивости, а другая компания, то эти ценности контролируют сами компании, а впоследствии и потребитель благодаря обязательным механизмам прозрачности производственного процесса свойственному устойчивому бизнесу. Инвесторы могут использовать устойчивость для сравнения компаний по отраслям с определением для себя пороговых значений, на основе которых будут разработаны стратегии устойчивого инвестирования. Значения устойчивости возможно включать в корректировку налогообложения для поощрения устойчивых производств, так как в их бизнес модель уже входят затраты на благосостояние окружающей среды и здоровье человека. Таким образом, этот аспект должен стать основой для будущих исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Івашура А.А., Борисенко О.М., Савченко М.Ф., Дитиненко С.О. Аналіз сталого споживання і виробництва в Україні // Грааль науки. 2021. № 9. С. 198–204.

2. Ivashura A., Borysenko O., Logvinkov S. Sustainability problems with ecologically balanced production growth // Ecology, environmental protection and balanced environmental management: education – science – production – 2021: Abstracts of XXIV International scientific conference. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University. P. 11–12.

3. Goal 12: Ensure sustainable consumption and production patterns [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production> (дата обращения: 25.12.2021).

4. Івашура А.А., Борисенко О.М. Аналіз екоусвідомленої харчової поведінки як фактора формування екологічної сталості // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна серія "Екологія". 2021. Вип. 25. -. С.101–110.

УДК 504.062.4

Ю.Л. Юрьев, проф., д-р техн. наук; М.А. Вавилова, магистрант
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, Российская Федерация)

МИКРОВОДОРОСЛИ CHLORELLA VULGARIS В ПРОЦЕССЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

Тяжёлые металлы являются одним из наиболее опасных загрязнителей водных экосистем, они способны накапливаться в количествах, многократно превышающих их содержание в водных объектах, образуя токсичные соединения и ингибируя биологические функции организма. В настоящее время предприятия используют физические, химические, физико-химические методы очистки, однако в последнее время большую популярность приобретают биосорбционные методы, основанные на способности биологических материалов накапливать тяжёлые металлы [1].

Процесс биосорбция тяжёлых металлов микроводорослями обусловлен функциональными группами клеточной стенки, действующими как сайты связывания. На эффективность биосорбции оказывают влияние факторы окружающей среды. Оптимальные показатели рН находятся в пределах от 6,5 до 8,5. Низкий рН удерживает металлы в растворе, подавляет микробную активность и увеличивает конкуренцию между катионами за сайты связывания, что приводит к снижению эффективности биосорбции. Оптимальные значения температуры составляют 20...35⁰С. При повышении температуры увеличивается поверхностная активность и кинетическая энергия, при этом структурная целостность биосорбента необратимо повреждается. Высокие концентрации биомассы и малые размеры частиц биосорбента, обеспечивают увеличение площади поверхности и улучшения контакта между металлом и сорбентом, что повышает эффективность биосорбции. Присутствие в растворе нескольких ионов металлов, играет косвенную роль и не влияет на общую способность связывания металлов. Металлы сорбируются живыми и мёртвыми клетками, при этом мёртвая биомасса, как правило, обладает большей сорбционной способностью. Преимущества микроводорослей перед другими организмами заключаются в высокой удельной скорости роста, простому клеточному циклу, кроме того, они не претерпевают морфологических изменений [2,3].

Хлорелла (*Chlorella*) – род одноклеточных зелёных водорослей, отдел Chlorophyta, порядок Chlorococcales, семейство Chlorellaceae. Род *Chlorella* включает около 20 видов одноклеточных водорослей, диаметр клеток 1,5...10 мкм. В состав водорослей входят белки

(40...60%), углеводы (8...30%), липиды (5...60%), пигменты, антиоксиданты, жирные кислоты и витамины. Известно, что элементный состав микроводорослей изменяется в зависимости от условий культивирования, вследствие физиологических механизмов адаптации, обусловленных доступностью питательных веществ. Основным компонентом белков и пигментов является азот, дефицит азота вызывает снижение скорости фотосинтеза, деструкцию фикобилин, накопление вторичных каротиноидов, увеличение синтеза углеводов и липидов. Свет является основным источником энергии у фототрофных микроорганизмов, с доступностью света связан процесс фотоакклиматизации под действием которого происходит изменение биохимических и структурных характеристик [4, 5].

Целью исследования являлось изучение биосорбции ионов железа (Fe^{3+}) микроводорослями *Chlorella vulgaris*, под действием физических и химических факторов.

В экспериментах были использованы модельные растворы с концентрацией ионов железа (Fe^{3+}) 15 мг/л, в качестве сорбента использовали микроводоросли *Chlorella vulgaris*, с концентрацией не менее 10^6 кл/мл. В качестве питательной среды использовали комплексное удобрение, с концентрацией азота 0,5 и 3,0 г/л. Продолжительность эксперимента составляла 120 часов, температура $25 \pm 2^\circ\text{C}$, с фотопериодами 12 и 24 часа, в качестве источника света были использованы светодиодные лампы. Аэрацию осуществляли атмосферным воздухом.

Максимальное значение биосорбции ионов железа (Fe^{3+}) микроводорослями (рисунок 1) приходится на период от 12 часов (50%) до 72 часов (78,6 %).

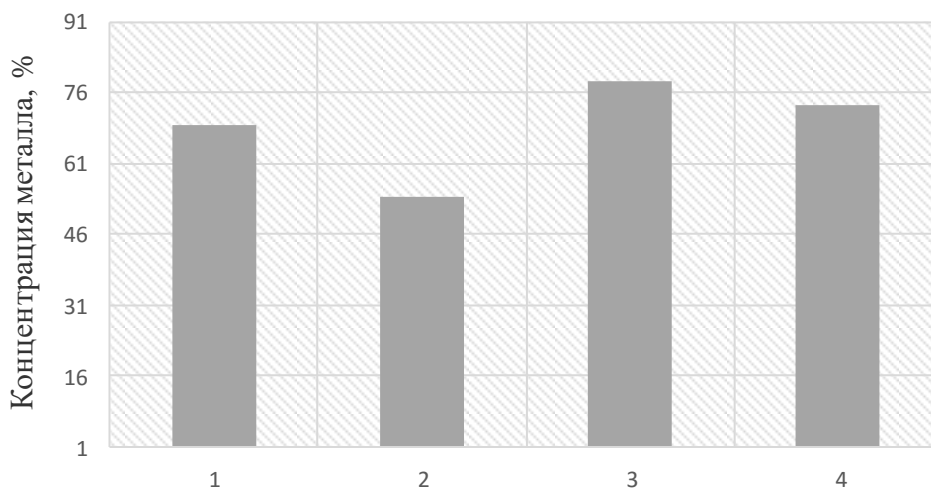


Рисунок 1 – Концентрация Fe (III) в модельных растворах через 72 часа

При непрерывном освещении и концентрации общего азота 3,0 и 0,5 г/л степень извлечения ионов железа составила 69,3% (проба 1) и 78,6% (проба 3) соответственно. В образцах 2 и 4 при концентрации азота 3,0 и 0,5 г/л, с фотопериодом 12 часов эффективность сорбции составила 54 и 73,3%.

В работе было изучено влияние факторов среды на сорбционную способность микроводорослей *Chlorella vulgaris*. По результатам проведённых опытов можно заключить, что высокой сорбционной способностью характеризовались образцы с пониженной концентрацией азота, что связано увеличением количества деацетилированных аминогрупп, имеющих повышенное сродство к катионам Fe^{3+} .

ЛИТЕРАТУРА

1. Shrestha, R. Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater: A review / R. Shrestha, S. Ban, S. Devkota, S. Sharma, R. Joshi, A. P. Tiwari, H. Y. Kim, M. K. Joshi // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2021. – Vol. 9, № 4.
2. Santos, S. C. R. Macroalgae Biomass as Sorbent for Metal Ions / S. C.R. Santos, G. Ungureanu, I. Volf, R. A. R. Boaventura, C. M.S. Botelho // *Biomass as Renewable Raw Material to Obtain Bioproducts of High-Tech Value*. – 2018. – P. 69 – 112.
3. Masojídek, J. Mass Cultivation of Freshwater Microalgae / J. Masojídek, G. Torzillo // *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. – 2014.
4. Silva, J. *Chlorella* / Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements / J. Silva, C. Alves, S. Pinteus, J. Reboleira, R. Pedrosa, S. Bernardino // *Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements*. – 2019. P. 187 – 193.
5. Mohsenpour, S. F. Integrating micro-algae into wastewater treatment: A review / S. F. Mohsenpour, S. Hennige, N. Willoughby, A. Adeloye, T. Gutierrez // *Science of The Total Environment*. – 2020. – Vol. 752.

УДК: 547.371:547.372

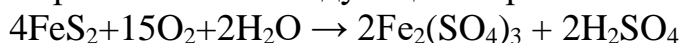
С.Ш. Шарипов, доц., PhD; Б.Ф. Мухиддинов, проф., д-р хим. наук
(Навоийский ГГИ, г. Навои, Республика Узбекистан)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗНЫХ ВИДОВ РЕАГЕНТОВ ПРИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ КИСЛЫХ СТОКОВ БИООКИСЛЕНИЯ

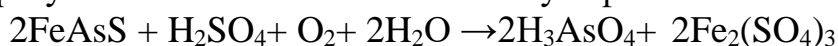
В процессе бактериального окисления упорного золота основными составляющими выщелачивающего раствора обычно являются мышьяк, серная кислота (H_2SO_4) и железо. Суть процесса нейтрализации является нейтрализация токсичных химических веществ, осаждение железа и мышьяка в виде осадков.

В настоящее время в существующих установках для биологического выщелачивания применяется нейтрализация известняком в условиях температуры окружающей среды.

При бактериальном окислении пирита образуются сульфат железа и серная кислота следующим образом:



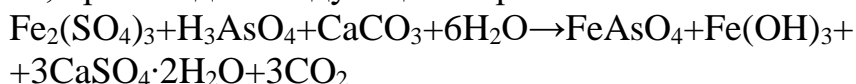
В результате бактериального окисления арсенопирита в процессе образуются мышьяковая кислота и сульфат железа:



Нейтрализация серной кислоты применением реактива известняка, протекает с получением нерастворимого гипса.

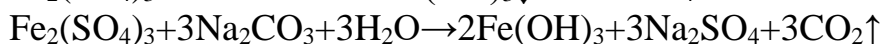
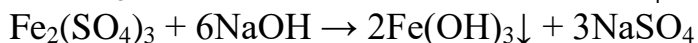
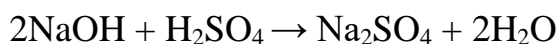


Осаждение продукта после биоокисления, содержащего железо и мышьяк, происходит следующим образом:



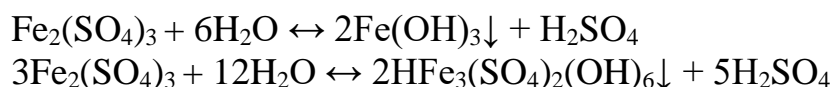
Этот метод осаждения в последнее время становится не выгодным, потому, что совместно с гипсом, Ca, осаждаются золотосодержащие продукты.

Чтобы избежать образования гипса мы предлагаем в качестве нейтрализующего агента NaOH или Na_2CO_3 . При этом реакции нейтрализации протекают следующим образом.



Образующийся Na_2SO_4 в отличие гипса не осаждается. По себестоимости NaOH дороже, чем Na_2CO_3 , поэтому для нейтрализации более выгодным является Na_2CO_3 .

Гидролиз сульфата окиси железа при $\text{pH} > 2,8$ протекает с образованием гидроокислов, а при более низком pH с образованием ярозита:



Для сравнения расхода нейтрализующих реагентов нами был выполнен следующий эксперимент. Нейтрализационный сток отбирался из верхнего слива ПТД-1 в объеме 5 литров ($\rho=1045$ г/т, $\text{pH}=1,3$, $\text{Fe}^{2+}=0,05$ г/л, $\text{Fe}^{3+}=10,3$ г/л). В качестве нейтрализующих реагентов экспериментально выбраны CaO , CaCO_3 , NaOH , Na_2CO_3 (табл. 1). Зависимость расхода реагентов от времени приведена в следующей таблице:

Таблица 1 – Сравнительные расходы предлагаемых нейтрализующих реагентов

№	Время, мин	Нейтрализующие реагенты							
		Расход CaO , гр	pH среда	Расход CaCO_3 , гр	pH среда	Расход NaOH , гр	pH среда	Расход Na_2CO_3 , гр	pH среда
1.	0	50	1,53	50	1,50	50	1,50	50	1,53
2.	15	50	1,55	50	1,53	50	1,58	50	1,73
3.	45	100	1,85	100	2,11	50	2,16	50	2,28
4.	75	100	2,35	100	2,43	50	2,69	50	2,74
5.	105	50	2,85	100	2,69	50	2,88	50	2,94
6.	135	30	3,35	50	3,33	30	3,13	50	3,07
7.	150	20	6,22	30	4,30	10	6,26	30	3,32
8.	165			30	4,88			50	5,76
9.	175			30	5,30			5	6,08
10.	195			20	5,76				
11.	210			10	5,95				
	3^{30}	400	6,22	570	5,95	290	6,26	385	6,08

По результатам исследования установлено (таблица 2), что для нейтрализации существующих объемов кислого растворов ПТД-1 требуется ежедневно 2016 тонн извести, что составит 725,76 тыс. тонн в год, а известняка в сутки 2873 тонн, что составит 1034,28 тыс. тонн в год. Для этой цели щелочь необходимо 1462 тонн в сутки или 526,32 тыс. тонн в год. Расход соды кальцинированной за аналогичный период составит 1940 тонн и 698,4 тыс. тонн, соответственно.

В пересчете на стоимость данных реагентов, затраты на известь составят 577,2 млн. сум в сутки. Затраты на известняк составят 44,55 млн. сум в сутки. Затраты на щелочь составят 8,63 млрд. сум в сутки. Затраты на соду кальцинированную составят 3,2 млрд. сум в сутки.

Таблица 2 – Расчет суточной потребности реагентов

№	Наименование реагента	Кислый раствор ПТД-1		
		расход в лаборатории (1 литр)	расчетный часовой расход для действующего процесса (1050 м ³)	расчетный суточный расход для действующего процесса (сут 25 200 м ³)
1.	Известняк CaCO ₃	114 г	119,7 тн	2872,8 тн
2.	Известь CaO	80 г	84 тн	2016 тн
3.	Щелочь NaOH	58 г	60,9 тн	1461,6 тн
4.	Кальцинированная сода Na ₂ CO ₃	77 г	80,85 тн	1940,4 тн

Сравнение стоимости затраты из испытанных реагентов наименьшие затраты наблюдаются у известняка, которые составляют 44,55 млн. сум в сутки или 16,03 млрд. сум в год.

Однако, стоит отметить, что при нейтрализации известняком, в реакторах происходит образование гипсовых отложений, которые могут оседать на рабочих частях баков нейтрализации, мешалках, перегородках, аэраторах и на внутренней части корпусов самих баков. При этом происходит уменьшение рабочего объема баков, затрудняется работа механического оборудования и снижается эффективность процесса.

Если не учитывать стоимость реагентов, по результатам минералогических анализов твердой фазы, полученной при нейтрализации слива ПТД-1, кальцинированная сода является самым хорошим образцом нейтрализующих реагентов. Предлагается использовать кальцинированную соду, которая даст возможность избеганию образования гипсовых отложений при нейтрализации слива ПТД-1.

МИКРООРГАНИЗМЫ-ДЕСТРУКТОРЫ НЕФТИ ДЛЯ БИОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВЫ

Микроорганизмы – самая распространенная форма жизни на планете, являющаяся первым звеном в цепи эволюции и составляющие существенную часть земной биоты. Микроорганизмы распространены повсюду, их число на планете оценивается в $4-6 \cdot 10^{30}$ клеток, при этом их суммарная масса содержит до $350-550 \cdot 10^{15}$ г углерода. Такое широкое распространение означает, что мы всегда имеем дело и ними. В настоящее время существует несколько методологических подходов в оценке экологического состояния почв, но наиболее чувствительным является микробиологический метод. Микробиота настолько полифункциональна, что, участвуя в противоположных реакциях, осуществляет стабилизирующую функцию метаболического равновесия в природе. За счет большой поверхности контакта со средой, микроорганизмы очень чувствительны к изменяющимся условиям существования и благодаря высокой скорости размножения позволяет в короткий срок оценить изменения, возникающие под влиянием экологических факторов. В основном в почве окислительно-восстановительные реакции имеют биохимическую природу и связаны с микробиологическими процессами [1,2].

Интенсивное развитие нефтедобычи позволило обратить внимание на тот факт, что периодически происходят аварийные разливы нефтепродуктов в окружающую среду. Нефтяное загрязнение приводит к формированию в почве микробного сообщества, способного с высокой эффективностью ассимилировать углеводороды. Высокая численность углеводородокисляющих микроорганизмов сохраняется значительное время и даже в очищенной нефтезагрязненной почве с низкими концентрациями нефтепродуктов (менее 10 г/кг). Так, в почвенной среде загрязнение может быть поверхностное (глубина проникновения загрязнения 0–5 см), подповерхностное (0–30 см), глубинное (до 1 м), с проникновением до уровня грунтовых вод (1-5 м и более) [3,4].

Исследования последних десятилетий показали, что не все виды нефти и отходов поддаются полной биодegradации за счет воздействия атмосферных факторов, в первую очередь из-за наличия углеводородов с высокой молекулярной массой, а также низкому содержа-

нию влаги и рН. Согласно классической схеме окисления углеводородов сначала идет их окисление до спиртов, эфиров, кетонов и далее до насыщенных и ароматических карбоновых кислот. Кроме этого, при разрушении нефтепродуктов в почве накапливаются продукты неполного окисления некоторых углеводородов, что ведет к появлению спиртов, альдегидов, карбоновых кислот, алифатических эфиров, аминокислот, ароматических кислот и других. Продукты неполного окисления повышают степень смачивания клеточной поверхности УВ, что обеспечивает их диффузию через клеточную мембрану, и обладают поверхностно-активными свойствами, которые способствуют эмульгированию УВ в мелкие капли и поглощению этих капель микробными клетками [5].

Согласно литературным данным в результате биохимического окисления нефтяных фракций микрофлорой происходит не только их полное разрушение до CO_2 и H_2O , но и необратимая трансформация части углеводородов в компоненты почвенного гумуса, что повышает содержание углерода в почве. Наиболее легко микроорганизмы окисляют насыщенные алканы, так как с биохимической точки зрения они являются более доступными, чем остальные нефтяные углеводороды, несмотря на то, что они являются стойкими и мало химически активны. Из литературы известно, что скорость биodeградации углеводородов уменьшается в следующем порядке: нормальные алканы > разветвленные алканы > циклоалканы > простые ароматические углеводороды (бензол, толуол и др.) > изопреноиды > конденсированные полиароматические соединения. При этом на практике чаще сталкиваются с тем, что биодеструкция n-алканов составляет до 75 %, а более высокомолекулярных соединений (моно-, би-, триароматических и т.д.) – до 90 %. Вероятнее всего, причиной таких результатов является не биохимическое воздействие, а физические факторы [6].

Цель: оценить эффективность применения микробного препарата Родобел-ТН, представленного микроорганизмами-деструкторами *Rhodococcus ruber* 1НГ-30П, *Bacillus subtilis* 2-4-201N, *Rhodococcus wratislaviensis* Г-13 и *Bacillus sp.* 4НГ-ПСД и консорциума БП 1, представленного микроорганизмами-деструкторами *Bacillus sp.* БП 1.1 и *Gordonia alkanivorans* БП 1.2, для применения в биоремедиации нефтезагрязненных почв.

Результаты мониторинговых исследований, выполненных на территории Беларуси позволили выявить широкое распространение и высокие уровни загрязнения почв и почвогрунтов нефтепродуктами, содержание которых варьировалось от фоновых (менее 5 мг/кг) до высоких (более 100 000 мг/кг) значений. Выделенные из нефтезагрязнен-

ной почвы углеводородоокисляющие микроорганизмы характеризовались высокой деструктивной активностью в отношении широкого круга ксенобиотиков, способны активно расти и разрушать нефть в концентрации 1-10%.

С целью изучения эффективности применения исследуемых микроорганизмов-деструкторов в условиях загрязнения почвы нефтью был заложен модельный опыт с использованием дерново-подзолистой почвы и 0,1% нефти (белорусской, плотность 0,91 г/см³ и российской, плотность 0,85 г/см³). Определение численности микроорганизмов-деструкторов проводили общепринятыми методами предельных разведений и посева на агаризованную синтетическую среду Е-8 с 0,1% гексадекана. Повторность опыта – трехкратная, продолжительность эксперимента – 4 месяца. Интродукцию микроорганизмов-деструкторов осуществляли из расчета 2,0-2,1·10⁹ КОЕ/100 г почвы. Количественное содержание нефти в почве определяли гравиметрическим методом с экстракцией хлороформом и гексаном.

В результате наблюдений было отмечено варьирование численности микроорганизмов-деструкторов нефти в разные сроки отбора образцов почвы. Численность нефтеокисляющих микроорганизмов до внесения препарата эксперимента не превышала 6,8·10⁵ КОЕ/г почвы. На протяжении всего модельного опыта отмечалось постепенное увеличение численности микроорганизмов-деструкторов. Через 4 месяца численность нефтеокисляющих микроорганизмов в варианте с препаратом Родобел-ТН достигла 0,98·10⁷ (с белорусской нефтью) и 1,07·10⁷ КОЕ/г почвы (с российской нефтью) соответственно. К концу эксперимента численность углеводородоокисляющих микроорганизмов в варианте с консорциумом БП 1 составляла 0,96·10⁶ (с белорусской нефтью) и – 1,04·10⁷ КОЕ /г почвы (с российской нефтью) соответственно. К концу эксперимента деструкция нефти в контрольных вариантах с белорусской и российской нефтью составила 29,3 и 47,8% соответственно. В аналогичных вариантах с применением микробного препарата Родобел-ТН нефть разрушилась на 60,2 и 77,0% соответственно. Интродукция в загрязненную почву консорциума БП 1 обеспечила разрушение нефти на 58,6 и 76,4% соответственно. Также подтвердилось большая эффективность деструкции легких нефтей, к которым относится образец российской нефти, по сравнению с белорусским образцом, относящимся к категории тяжелых нефтей.

Аmplификация участка гена с использованием праймеров nifH-1F и nifH-1R показала, что специфический ПЦР-продукт размером ~ 430 п.о. есть только у положительного контроля (*Rhanella aquatilis* В-704) и у *Rh. wratislaviensis* Г13, а у остальных штаммов – отсутствует.

Исходя, из полученных данных можно утверждать, что *Rh. wratislaviensis* Г13 являются азотфиксаторам, так как у него присутствует ген *nifH*, который ответственен за синтез нитрогеназы. В результате проведенного биохимического анализа была выявлена способность исследуемых штаммов к продукции индолилуксусной кислоты. Продукция индолил-3-уксусной кислоты составляла 10,5; 7,2; 5,4; 5,2; 1,8 и 7,2 мкг/мл у штамма *Bacillus subtilis* 2-4-201 N, *Bacillus sp.* 4НГ-ПСД, *Rh. wratislaviensis* Г13, *Rh. ruber* 1НГ-30П, *Bacillus sp.* БП 1.1, соответственно. *Gordonia alkanivorans* БП 1.2 не образует индолил-3-уксусную кислоту. Исходя, из полученных данных можно утверждать, что исследуемые штаммы обладают ростстимулирующей активностью.

Таким образом, исследуемые микроорганизмы-деструкторы обеспечивают ускорение разрушения нефти в почве и могут быть использованы для минимизации последствий, связанных с аварийным загрязнением почвы нефтью. Положительное влияние микробного препарата на развитие растений свидетельствует о перспективности их использования в технологии биоремедиации почвы, обеспечивающей восстановление ее биологической активности и возвращение в сельскохозяйственный оборот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Microbes – Oilfield Enemies or Allies? / // Oilfield Review. Summer. – 2012. – V. 24, N. 2. – P.4–21.
2. Полещук, Т.О. Микробиологическая индикация почв над подземным хранилищем природного газа / Т.О. Полещук, Е. В. Плешакова, М. В. Решетников, И.С. Пальцев // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. – 2015. – Т. 15. – Вып. 1. – С.75–81.
3. Пахарькова, Н.В. Оптимизация выбора растений для биоремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами в условиях южной сибирей / Н. В. Пахарькова и др. // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 8. – С. 28–33.
4. Brzeszcz, J. R-Strategist versus K-Strategist for the application in bioremediation of hydrocarbon-contaminated soils / J. Brzeszcz [et al.] // Intern. Biodeter. & Biodegrad. – 2016. – V. 106. – P. 41–52.
5. Филатов, Д.А. Биохимическое окисление газойля в модельной почвенной системе / Д.А. Филатов, Е.Б. Кривцов, Е.А. Ельчанинова, Л.К. Алтунина // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. – № 4. – С. 31–36.

УДК 681.5

В.И. Бакаленко, канд. техн. наук, доц.;
О.Г. Барашко, канд. техн. наук, доц.; Т.А. Дейнека, ассист.
(БГТУ, г. Минск)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОМЕТРОВ

Расчет параметров настройки регулятора основан на информации о коэффициенте передачи и динамических характеристиках объекта управления. Эти величины могут изменяться в процессе работы, что может привести к нарушению устойчивости системы управления. Так, например, коэффициент передачи теплообменника, используемого для подогрева горячей воды, может изменяться в разы при изменении нагрузки (G) и температуры в подающем трубопроводе (t_1).

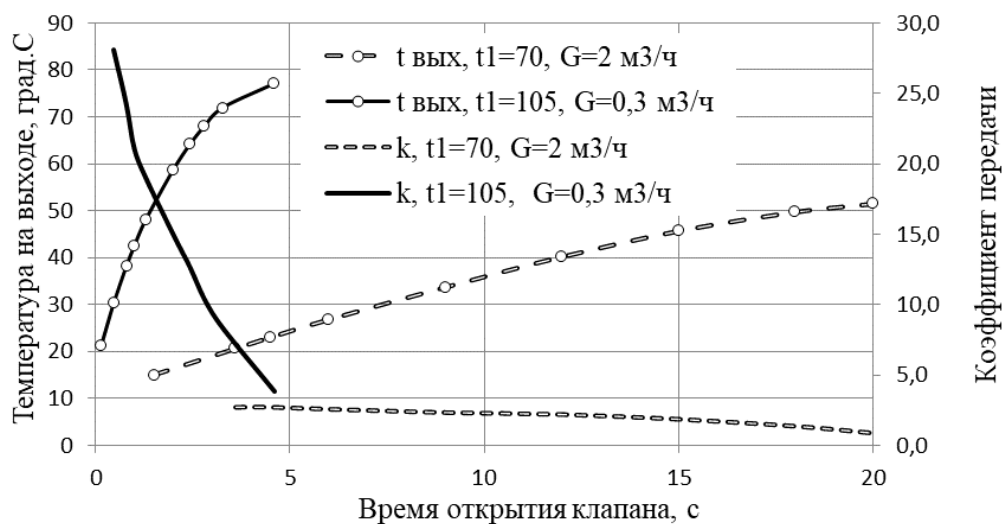


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента передачи теплообменника от нагрузки и температуры в подающем трубопроводе системы теплоснабжения

На рисунке 1 показаны экспериментально полученные статические характеристики теплообменника в летний период, когда температура в подающем трубопроводе системы теплоснабжения t_1 равна 70°C , при максимальном водоразборе (G) и в зимний период ($t_1=105^\circ\text{C}$) при минимальном водоразборе. При необходимости поддерживать в контуре горячего водоснабжения температуру 50°C коэффициент передачи изменился от $1,5$ до $18^\circ\text{C}/\text{с}$.

При регулировании в системах горячего водоснабжения необходимо учитывать также динамику термометра, которой нельзя пренебречь при совместной работе с малоинерционными пластинчатыми

теплообменниками. Целью проведенных экспериментов было определение зависимости постоянной времени термометра от конструктивных особенностей и режимов работы.

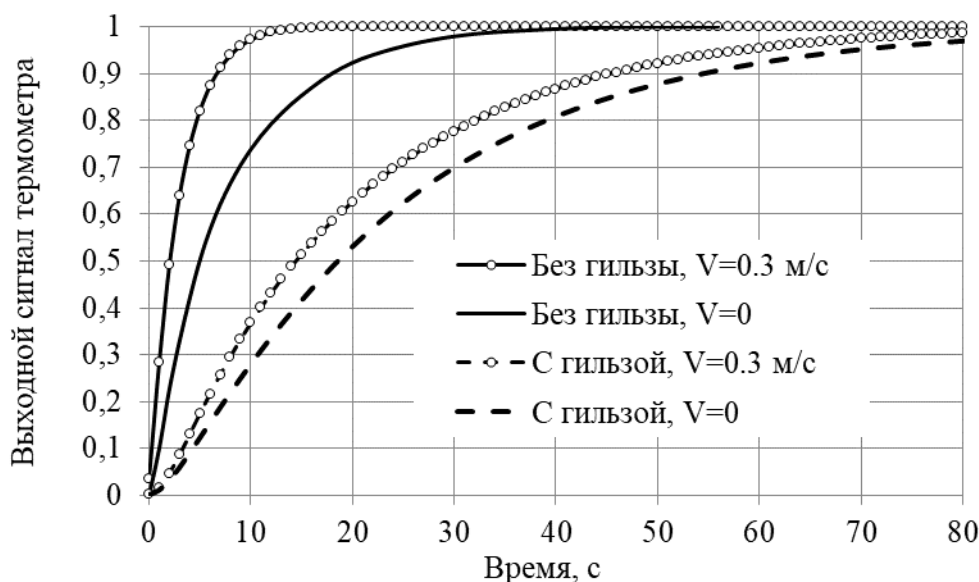


Рисунок 2 – Переходной процесс термометра

Применяемые для данных целей защитные гильзы изготовлены из тонкостенных (1 мм) трубок с зазором между внешней поверхностью термометра и внутренней поверхностью гильзы от 0,2 до 0,5 мм. Такие защитные гильзы маслом не заполняются.

Полученные результаты (Рис. 2) показывают, что термометр, помещенный в защитную гильзу, представляет собой апериодическое звено первого порядка; применение малоинерционных защитных гильз позволяет получить постоянную времени термометра не более 25 с.

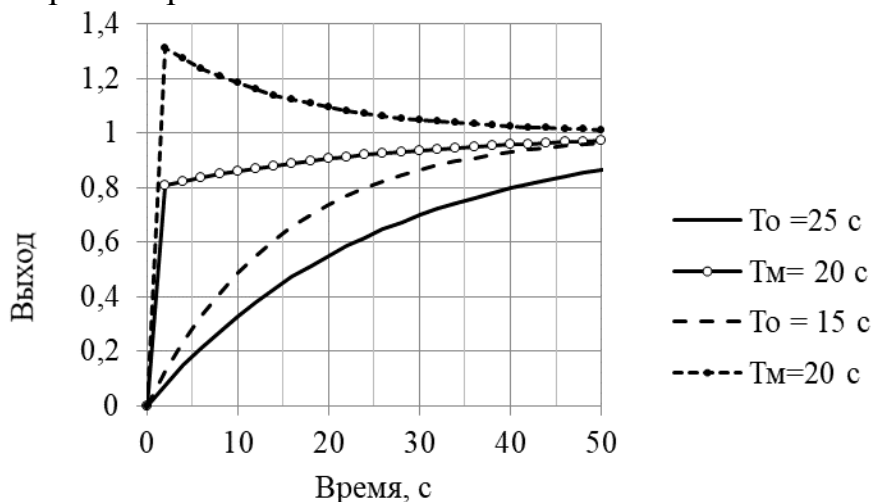
Интенсивность теплообмена между корпусом термометра (защитной гильзы) и измеряемой средой зависит от коэффициента теплоотдачи (α). Приближенная оценка на основании приведенных в [2] зависимостей показывает, что увеличение скорости потока воды с 0,3 м/с до 2 м/с может привести к трехкратному уменьшению постоянной времени термометра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977, 344 с. с ил.

ПРОГРАММНАЯ КОРРЕКТИРОВКА ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ТЕРМОМЕТРОВ

В [1] рассматривался способ уменьшения инерционности термометров путем обработки контроллером в реальном масштабе времени данных, поступающих с первичного преобразователя, где отмечалось, что применимость метода зависит от того, насколько принятая постоянная времени модели (T_M) и термометра (T_O) соответствуют друг другу. На рис.1 представлены результаты моделирования выходного сигнала устройства, реализующего алгоритм [1], при одной и той же постоянной времени модели ($T_M=20$ с) и различных постоянных времени реального термометра.



**Рисунок 1 – Форма выходного сигнала
при несоответствии T_M и T_O**

Максимальная ошибка расчета соответствует первому шагу измерений, при этом $T_M < T_O$ является предпочтительнее, чем $T_M > T_O$.

Если интервал измерений (Δt) представить в виде доли постоянной времени модели, т. е. $\Delta t = T_M / n$, то максимальную ошибку, возникающую на первом шаге, можно оценить по формуле:

$$\delta(T_O / T_M, \Delta t) = \frac{1 - e^{-\frac{\Delta t}{T_O}}}{1 - e^{-\frac{\Delta t}{T_M}}} = \frac{1 - e^{-\frac{T_M}{T_O \cdot n}}}{1 - e^{-\frac{1}{n}}}. \quad (1)$$

Как видно из рисунка 2 при $n > 5$ ошибка в определении постоянной времени термометра T_M практически линейно влияет на ошибку расчета.

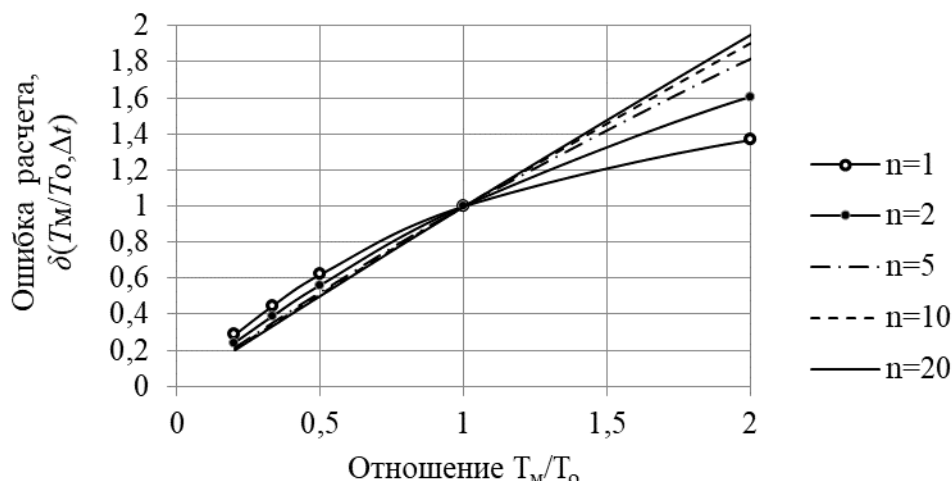


Рисунок 2 – Зависимость ошибки расчета от ошибки определения T_m

Изменяющимися параметрами среды, которые влияют на постоянную времени термометра [1], являются коэффициент теплоотдачи α и теплоемкость материала термометра. Из критериальных уравнений, связывающих эти параметры с температурой среды и скоростью ее движения [2] можно получить, что для жидкости при равенстве температур измеряемой среды и корпуса термометра, получим:

$$\alpha = 0,28 \cdot \frac{(\rho V)^{0,6} c_p^{0,36}}{\mu^{0,24} \lambda^{0,64} d^{0,4}} \quad (2)$$

Для воздуха

$$\alpha = 0,245 \cdot \left(\frac{\rho V}{\mu} \right)^{0,6} \cdot \frac{\lambda}{d^{0,4}} \quad (3)$$

Из (2) и (3) следует, что изменение скорости потока, например, в 2 раза постоянная времени термометра изменится в 1,5 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакаленко В.И., Карпович Д.С. Улучшение динамических характеристик термометров // 84-я научно-техн. конф. проф.-препод. состава, научных сотрудников и аспирантов БГТУ. Секция химической технологии и техники. – Минск, 2020. – С.287–289

2. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977, 344 с. с ил.

И.О. Оробей, канд. техн. наук, доц.;
В.В. Сарока, канд. техн. наук, доцент,
Д.С. Карпович, канд. техн. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)

ДАТЧИК КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ NH_3

Газовый анализ – это качественное обнаружение и количественное определение компонентов газовых смесей. Газовый анализ может проводиться, так по лабораторным методикам, так как с помощью специальных газоанализаторов. Как правило, методы газового анализа основаны на измерении физических параметров и свойств среды. По характеру измеряемого физического параметра методы газового анализа можно разделить на: механические, акустические, тепловые, магнитные, оптические, ионизационные, масс-спектрометрические, электрохимические, полупроводниковые.

Измерители концентрации, принцип действия которых основан на взаимодействии оксидов металлов с анализируемыми газами перспективны для анализа концентрации газов.

В ном измерителе концентрации NH_3 использован первичный преобразователь, чувствительный резистивный элемент которого представляет собой слой допированного оксида олова (IV), полученный методом магнетронного распыления металлической мишени сложного состава. Чувствительный слой преобразователя через диэлектрическую подложку находится в тепловом контакте с платиновым нагревательным элементом.

Для измерения концентрации NH_3 электронная схема должна осуществлять стабилизацию температуры резистивного слоя оксида олова в точке максимальной чувствительности к газу, причем из-за возникающих перекрестных помех для управления температурой нагревателя нежелательно использовать широтно-импульсную модуляцию тока нагревательного элемента. Вследствие малого теплового сопротивления между чувствительным элементом и нагревателем последний может быть использован в качестве датчика температуры.

Первичный преобразователь содержит резистивный слой допированного оксида олова R_1 и платиновый нагревательный элемент R_2 [1]. Слой оксида олова имеет чувствительность по проводимости $\Delta\sigma/\sigma \cdot 100 = 20\%/ppm$ к NH_3 при объемной концентрации $C = 10 ppm$ и температуре $190 \pm 2^\circ\text{C}$, $\Delta\sigma/\sigma \cdot 100 = 15\%/ppm$. Линейное увеличение проводимости слоя оксида олова от концентрации сохраняется вплоть до $C = 1000 ppm$. Начальное сопротивление R_1 при отсутствии NH_3 лежит в пределах 300 ± 50 кОм, сопротивление нагревателя при температуре

$t=0^{\circ}\text{C}$ $R_2(0)=10$ Ом, статическая характеристика $R_2(t)$ соответствует платиновому термометру сопротивления типа Pt100.

Измеритель концентрации работает следующим образом. Сигнал задания температуры для усилителя ошибки формируется цифро-аналоговым преобразователем (ц.а.п.) под управлением контроллера, принципиальная схема которого приведена в [2]. Выходной сигнал D_r усилителя ошибки управляет источником тока нагревателя R_2 , T_1 . Для определения температуры нагревателя в управляющее напряжение D_r добавлен меандр с частотой 3 кГц, вырабатываемый ключом, под управлением генератора. Преобразование $U_{mR_2}(t)$ в напряжение, пропорциональное температуре, осуществляется дифференциальным усилителем; активным фильтром низких частот на C_1 , R_{11} , синхронным детектором, и усилителем.

Задающее напряжение, вырабатываемое ц.а.п., при наклоне характеристики 10^{-3} В/бит обеспечивает не менее 7 младших значащих разрядов ц.а.п. на 1°C в требуемом температурном диапазоне. Развертка задающего напряжения осуществляется циклически с двухсекундной выдержкой постоянных напряжений, соответствующих температурам 190 и 250 $^{\circ}\text{C}$, что определяется длительностью переходного процесса в системе источник тока - R_2 - R_1 .

Падение напряжения на R_1 , обратно пропорциональное концентрации измеряемого газа, через буферный повторитель, выполненный на измерительном усилителе, поступает на Δ - Σ аналого-цифровой преобразователь (а.ц.п.), расположенный в микропроцессорном блоке [2]. А.ц.п. сконфигурирован как 16 разрядный в диапазоне 0 – 1,25 В. Максимальное значение сопротивления R_1 заносится в память контроллера при калибровке устройства. Программное обеспечение контроллера учитывает паразитное перекрестное влияние компонент газов на результаты измерения (ненулевую чувствительность к NH_3 при температуре 250 $^{\circ}\text{C}$), что позволяет получить погрешность не более 1 ppm в диапазоне концентраций 0 – 1000 ppm.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shishkin N.Y., Zharsky I.M., Lugin V.G., Zarapin V.G. Dioxide Thin Films by Magnetron sputtering and Thermal Oxidation Technique. // Sensors and Actuators B 48. pp. 403-408. 1998.
2. И.О. Оробей, И.Ф. Кузьмицкий, Д.А. Гринюк, С.Е. Жарский, В.В. Сарака, М.В. Максимова . // ПТЭ. 1997. №2. С. 141.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. В 2т.: пер с англ. – М.: Мир, 1984.

С.Е. Жарский, канд. техн. наук;
 В.В. Сарока, канд. техн. наук, доц.;
 В.Л. Алексеев, маг. техн. наук, ассист. (БГТУ, г. Минск)

ПОДКЛЮЧЕНИЕ УСТРОЙСТВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ПРОТОКОЛ DCON К ПАНЕЛЯМ ОПЕРАТОРА WEINTEK В УЧЕБНОМ В ПРОЦЕССЕ

Промышленный протокол DCON является стандартом цифровой передачи данных для интеграции устройств полевого уровня в единую сеть. Протокол DCON, используется в модулях фирмы ICP DAS и Advantech и при подключении к оборудованию без поддержки DCON имеются определенные трудности. DCON использует только физический и прикладной уровень модели OSI. На физическом уровне используется прямое двоичное кодирование. Требования к среде передачи (витая пара) определяются стандартом на интерфейс RS-485. В сети DCON используется архитектура «ведущий – ведомый». Один ведущий с заданным интервалом опрашивает несколько ведомых устройств, каждое из которых имеет свой уникальный адрес от 1 до 255, что в принципе исключает возможность конфликтов. Для увеличения надежности передачи информации используется вычисление контрольной суммы. Вся информация, содержащаяся в кадре, включая адрес модуля и данные, передается в ASCII кодах.

Модули преобразования аналоговых сигналов ICP I-7016 выполняют функции аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразований нескольких аналоговых входов, дискретного ввода-вывода, таймера/счетчика и т.п. Предусмотрена возможность дистанционного опроса и управления этими модулями при помощи набора команд протокола DCON по интерфейсу RS-485

При подключении ICP I-7016 к панели оператора Weintek посредством ПО EasyBuilderPro возникают определенные трудности поскольку отсутствует поддержка протокола DCON. Решение данной проблемы позволит реализовать подключение ICP I-7016 в режиме «Free protocol» с использованием макроса, который имеет вид:

```
bool data_exchange, eror_con
macro_command main()
SetData(data_exchange, "Local HMI", LB, 50, 1) // Control data exchange
//////////////////////////////////// Read AI data //////////////////////////////////////
char receive_data[58] //respons
char data_1[6], data_2[6]
short st_1 = 58
int receive_len
short ai_adr // AI port adr (Iin0....IinX)
```

```

float AI[16], Fdata // количество аналоговых входов
float PD[10]
float ID[10]
char send_data[4]="#01" //receive data string to port Request 01-address
send_data[3]=0x0D // CR - ASCII - символ перевода строки в 16-м формате
SetData(send_data[0], "Local HMI", LW, 0, 4)//send hex data to HMI LW
OUTPORT(send_data[0], "AI_DCON", 4) // send data to port
INPORT(receive_data[0], "AI_DCON", st_1+3, receive_len) // receive string dat from port
StringSet(receive_data[0], "Local HMI", LW, 100, st_1)//string receive_data to HMI
StringSet(receive_data[2], "Local HMI", LW, 200, 6)//string receive_data to HMI
StringSet(receive_data[9], "Local HMI", LW, 300, 6)//string receive_data to HMI
StringSet(receive_data[16], "Local HMI", LW, 400, 6)//string receive_data to HMI
StringGet(data_1[0], "Local HMI", LW, 200, 6)
StringGet(data_2[0], "Local HMI", LW, 300, 6)
StringGet(data_3[0], "Local HMI", LW, 400, 6)
StringDecAsc2Float(data_1[0], AI[1]) //string to float
SetData(AI[1], "Local HMI", LW, 50, 6)//send float data AI to HMI LW
StringDecAsc2Float(data_2[0], AI[2]) //string to float
SetData(AI[2], "Local HMI", LW, 80, 6)//send float data AI to HMI LW
StringDecAsc2Float(data_1[0], AI[1]) //string to float
PD[1]=(AI[1]-4)*3.125+10
SetData(PD[1], "Local HMI", LW, 500, 8)//send float data AI to HMI LW
StringDecAsc2Float(data_2[0], AI[2]) //string to float
ID[1]=(AI[2]-4)*3.125+10
SetData(ID[1], "Local HMI", LW, 700, 8)//send float data AI to HMI LW
SetData(receive_len, "Local HMI", LB, 10, 1)// передача ОК
//////////////////// Control data exchange //////////////////////
if data_exchange==0 and receive_len > 1 then
    SetData(data_exchange, "Local HMI", LB, 50, 1)
    data_exchange=1
else
    data_exchange=0
end if
if receive_len <= 0 then
error_con=1
else
error_con=0
end if
SetData(error_con, "Local HMI", LB, 51, 1) //ошибка связи
end macro_command

```

Для реализации обмена данными между ICP I-7016 и панелью оператора Weintek посредством ПО EasyBuilderPro по протоколу DCON была разработана программа (макрос). Изучение специфики программного обеспечения, особенностей сопряжения и коммуникаций интеллектуальных устройств позволить профессиональные компетенции будущих специалистов.

УДК 621.317

И.О. Оробей, канд. техн. наук, доц.; В.В. Сарока, канд. техн. наук, доц.;
Д.С. Карпович, канд. техн. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Для осуществления радиоспектроскопического анализа веществ необходимы магнитные системы, обладающие высокой стабильностью поля в рабочей области спектрометра с возможностью изменения поля по заданному закону для развертки при записи спектра.

Разработанное устройство стабилизации и развертки магнитного поля для радиоспектрометров представляет собой контур регулирования, включающий следующие блоки: магнитную систему с ярмом броневого типа на основе электромагнитов (объект регулирования); первичный преобразователь индукции в напряжение на датчике Холла, измеряющий регулируемую величину; аналоговый ПИД-регулятор; источник тока, управляемый напряжением (исполнительный механизм); генератор развертки, формирующий сигнал задания; блок питания.

Магнитная система имеет следующие параметры. Катушка электромагнита, содержащая 600 витков медного провода диаметром 0,5 мм, расположена на полюсных наконечниках. Для получения сигнала поле в месте расположения образца должно быть не менее 0,13 Тл. По конструктивным соображениям длина рабочего зазора выбрана равной 10 мм, а размеры рабочего зазора составляют 60×60×10 мм [1]. Расчет активного сопротивления катушки электромагнита, проведенный по средней длине витка при температурах 20 и 100°С, дает значения 13,8 и 18,8 Ом соответственно, что определяет область нормальной работы источника тока (без перехода в насыщение). Передаточная характеристика источника тока определяется его схемой и имеет вид: $W_{ИТ}=0,1$.

Для определения передаточной характеристики электромагнита (ток-поле) использовались методы расчета магнитных цепей.

$$\begin{cases} F_1 + F_2 + F_3 = 0 \\ l_1 H_1 + l_2 H_2 + l_3 H_3 = IN \end{cases}; \quad (1)$$

где F_1, F_2, F_3 – магнитные потоки в рабочем зазоре и участках ярма 1 и 2; l_1, l_2, l_3 – длины рабочего зазора и участков 1 и 2 ярма; H_1, H_2, H_3 – напряженности магнитного поля в рабочем зазоре и участках ярма 1 и 2; N, I – число витков и ток в катушке электромагнита. В силу симметрии магнитной системы $F_2=F_3, l_2=l_3, H_2=H_3$. С учетом потока поля

рассеивания с боковых граней полюсных наконечников в F_1 , используя систему (1) и кривую намагничивания находим, что поле в центре зазора $B=0,13$ Тл создается током $I=2,35$ А. Повторяя расчет для других значений индукции получаем нелинейную статическую характеристику магнитной системы (зависимость между B и I), линеаризуя которую при $B=0,13$ Тл определяем передаточную функцию

$$W_{MC} = K_{MC} / (T_{MC}p + 1) = 0,553 / (0,1p + 1). \quad (2)$$

Появление постоянной времени T_{MC} обусловлено переходом источника тока в режим источника напряжения из-за срабатывания защиты от индуктивных выбросов при изменениях тока.

Измерительная часть магнитометра на датчике Холла работает на переменном токе с синхронным детектированием и имеет контуры подавления синфазного сигнала и термостабилизации, что обеспечивает высокие метрологические характеристики в необходимом диапазоне полей 1ч625 мТл [2]. Упрощенно передаточную функцию магнитометра можно представить апериодическим звеном первого порядка

$$W_{дх} = K_{дх} / (T_{дх}p + 1) = 44 / (0,47p + 1). \quad (3)$$

Учитывая возможное возмущение (наведение внешнего магнитного поля либо введение в рабочий зазор ферромагнитного вещества) при помощи средств пакета MATLAB рассчитаны оптимальные уставки ПИД-регулятора: $K_p=3,82$, $T_i=7,73$ $T_d=0,15$. При данных значениях уставок система обрабатывает возмущение за 1 секунду, что позволяет выбрать скорость развертки поля исходя из требуемого диапазона записываемого спектра. Испытания, проведенные на макетном образце, подтвердили правильность проведенных расчетов. Данная структура может использоваться для широкополосных спектрометров магнитного резонанса и позволит проверить возможность использования новых алгоритмов радиоспектроскопических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оробей И.О., Сарака В.В. Первичный преобразователь импульсного ЯМР – спектрометра для систем управления // Труды БГТУ. Сер. физ.-мат. Наук и информ. Вып. X. 2002. С. 136-138.
2. Оробей И.О., Кузьмицкий И.Ф., Гринюк Д.А., Жарский С.Е., Сарака В.В., Максимова М.В. // ПТЭ. 1997. №2. С. 141.

УДК 621.317

И.О. Оробей, канд. техн. наук, доц.; В.В. Сарока, канд. техн. наук, доц.;
Д.С. Карпович, канд. техн. наук, доц.; М.А. Анкуда, ст. преп.;
Н. М. Олиферович, ассист. (БГТУ, г. Минск)

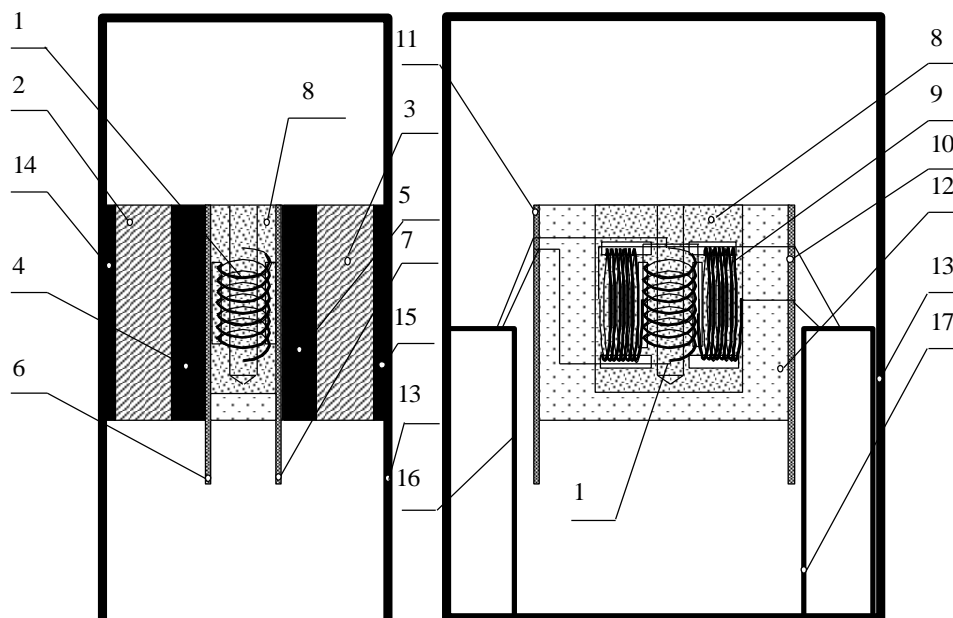
РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ИМПУЛЬСНОГО ЯМР СПЕКТРОМЕТРА

Спектрометры ядерного магнитного резонанса широко применяются для определения состава и свойств веществ, дающих сигнал ЯМР. Наиболее критичным узлом радиоспектрометра является первичный преобразователь. Для использования в жестких условиях технологического процесса преобразователь должен обладать повышенной помехоустойчивостью по отношению к электромагнитным и механическим воздействиям, а также малым энергопотреблением. Этим требованиям удовлетворяет первичный преобразователь на основе постоянных магнитов с ярмом броневого типа. Кроме того, для получения сигнала ЯМР поле в рабочем зазоре в месте расположения образца должно быть не менее 0,1 Тл с относительной неоднородностью не более 10^{-5} . Желательно, чтобы преобразователь мог быть использован в составе импульсного ЯМР спектрометра. Схематичное изображение разработанного первичного преобразователя, удовлетворяющего перечисленным требованиям, представлена на рис.1.

Для получения первоначальной однородности магнитного поля отношение характерного размера полюсных наконечников (диаметра или стороны квадрата) к длине рабочего зазора должно быть не менее 5. По конструктивным соображениям необходима длина рабочего зазора 10 мм, поэтому габаритные размеры рабочего зазора выбраны равными 60×60×10 мм. Магнитное поле преобразователя создается 2 постоянными магнитами из феррита стронция 27СА220, имеющими размеры 60×60×15 мм. Расчет параметров магнитной системы проводился по критерию максимальной индукции магнитного поля в центре рабочего зазора. Расчетное значение индукции составило 0,145 Тл для магнитной системы с ярмом броневого типа, имеющим габаритные размеры 130×130×58 мм [1].

По результатам расчета изготовлена магнитная система преобразователя. Толщина полюсных наконечников оптимизированной магнитной системы составляет 4,5 мм, что выравнивает неоднородность намагничивания постоянных магнитов. Ферромагнитные вставки обеспечивают получение оптимизированных размеров магнитной системы. Кроме концентрации магнитного потока магнитная система броневого типа обеспечивает также защиту от электромагнитных по-

мех. Ярмо выполнено из пластин электротехнической стали толщиной 1,5мм. В центре рабочего зазора получено пятно однородного поля 10х10 мм с индукцией 0,15Тл, что хорошо согласовывается с расчетным значением. Топография магнитного поля в рабочем зазоре снималась при помощи датчика Холла.



1 – приемная катушка; 2, 3 – постоянные магниты из феррита стронция 27СА220; 4, 5 – полюсные наконечники; 6, 7 – токовые шиммы; 8 – корпус кюветы из органического стекла; 9 – катушка возбуждения; 10, 11 – клемные колодки; 12 – латунный корпус кюветы; 13 – ярмо магнитной системы; 14, 15 – ферромагнитные вставки; 16 – приемный усилитель; 17 – блок управления

Рисунок 1 – Первичный преобразователь импульсного ЯМР-спектрометра

Кювета с анализируемым образцом имеет $\varnothing 5$ мм, длину 45мм и проходит через пятно однородности. Радиочастотная часть спектрометра выполнена на основе скрещенных катушек Блоха, оси которых расположены под углом 90° . Рабочий объем кюветы с образцом находится в центре скрещенных катушек Блоха в пределах пятна однородности поля. Передающая катушка (катушка возбуждения) содержит 160 витков провода ПЭВ 0,2мм и имеет индуктивность 134,5 μ Н, сопротивление 9,8 Ом. Ее ось ортогональна оси кюветы с образцом. Приемная катушка содержит 100 витков ПЭВ 0,2мм, имеет сопротивление 2,13 Ом, индуктивность 46 μ Н. Она располагается соосно с кюветой.

Кювета с катушками Блоха монтируется на латунный корпус, имеющий плоскопараллельные рабочие поверхности, к которым прижимаются полюсные наконечники. Начальная однородность магнитного поля обеспечивается за счет параллельности плоскостей латун-

ного корпуса. Окончательная юстировка поля осуществляется при помощи токовых шиммов, расположенных между полюсными наконечниками. Шиммы позволяют изменять градиент магнитного поля в 2 взаимно ортогональных направлениях, что обеспечивает компенсацию остаточного или установку необходимого градиента при помощи управляемых источников постоянного тока. Катушка возбуждения и приемная катушка экранированы медной фольгой, присоединенной к корпусу.

Выводы катушек и шиммов присоединяются к платам с электронными компонентами, которые смонтированы внутри ярма магнитной системы, что позволило уменьшить паразитные емкости и микрофонный эффект. На платах расположены блок управления вектором ядерной намагниченности и приемный усилитель сигналов ЯМР. Приемный усилитель выполнен в виде 2-хкаскадного дифференциального усилителя на высокочастотных транзисторах. Управление вектором ядерной намагниченности осуществляет высокочастотный источник синусоидального тока в катушку возбуждения. Он представляет собой высокочастотный генератор с электронной перестройкой частоты и электронной регулировкой амплитудой генерируемых колебаний. В качестве задающего генератора источника тока использована схема автодина. Для исключения взаимного влияния платы монтируются в экранирующих латунных корпусах [2].

Испытания первичного преобразователя проводились на водопроводной воде. Частота принимаемого сигнала от протонов воды составляла 6,38 МГц, что соответствует гиромагнитному отношению для протонов 42,57 МГц/Тл.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оробей, И. О. Первичный преобразователь ЯМР – спектрометра И. О. Оробей, В. В. Сарока // Вестник БНТУ. – 2004. – № 4. – С. 28–31.
2. Система стабилизации и развертки магнитного поля для радиоспектрометров / В. В. Сарока, И. О. Оробей, Е. И. Дедкова, Т. В. Леонова, А. Л. Пархимович // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: материалы докладов Международ. науч.-технич. конф., – Минск, 22-24 октября 2003 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2003. – С. 78.

СИНТЕЗ АВТООПЕРАТОРА ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕССОР

Минский рессорный завод специализируется на производстве рессор широкого ассортимента к автомобильной технике. Существующий технологический процесс содержит ряд операций с использованием ручного труда. В основном это операции по снятию и перекладке заготовок. Условия труда в цеху чрезвычайно вредные. Закалка рессор осуществляется в масле. Дым, испарения масла, шум создают тяжелые условия труда и требуют замены ручных механических операций на автоматизированные.

Наиболее тяжелой и вредной является операция перекладки заготовок с цепного конвейера закалочной печи в машину формовки и закалки. Укладка изделий на конвейер осуществляется на подаче в печь. В зависимости от набора формующих элементов на барабане закалочной машины, рабочий производит раскладку, выбирая заготовки по типу со стеллажей. Изделия находятся в печи необходимое время (задаваемое скоростью движения конвейера) и нагреваются до 1100 °С. При появлении заготовки на рабочем участке цепного конвейера, рабочий осуществляет захват и перекладку заготовки в формовочное устройство. По команде рабочего осуществляется смыкание рабочих органов формовочного устройства, происходит изгиб заготовки, и последующий поворот барабана сбрасывает заготовку в емкость с маслом, где происходит закалка. При повороте барабана становятся в рабочую позицию и открываются рабочие органы для другого типа заготовки. Цикл повторяется. Для исключения ручного труда требуется разработка роботизированного комплекса, состоящего из устройства укладки заготовок на конвейер и устройства снятия и перекладки на закально-формовочную машину. Информация о координатах нахождения заготовки на конвейере будет передаваться системе управления перекладчиком от системы управления роботом укладчиком и системы управления приводом конвейера, что позволит точно позиционировать рабочие органы перекладчика, осуществлять захват и перекладку изделия на рабочие органы формовочно-закалочной машины. Введение роботизированного комплекса позволит сократить время перекладки, повысить эффективность закалки и исключить из данной операции ручной труд.

Важным участком технологической линии, где требуется установка манипулятора-перекладчика является место перекладки заготовок с ленточного (пластинчатого) конвейера на ленту транспортера установки очистки окалины.

Порядок действия манипулятора-перекладчика рессор:

1. При появлении заготовки на пластинчатом конвейере манипулятор определяет размер (вид заготовки) для выбора оптимальных координат захвата (оптимизация для перемещения по размеру и весу);

2. Захваты, подводятся к плоскости заготовки параллельно плоскости движения платины конвейера;

3. Зафиксированная деталь приподнимается, отводится по ходу пластинчатого конвейера, разворачивается «в длину» параллельно направлению ленты приемного транспортера, поворачивается плоскостью параллельно ленте конвейера и укладывается на конвейер;

4. По мере того как заготовка располагается на конвейере захваты отпускаются;

5. Для обработки второй плоскости детали манипулятор должен принять деталь с ленты транспортера на выходе установки очистки (длины транспортера 5м) подать на вход транспортера, перевернуть необработанной плоскостью «вверх» и уложить на ленту подачи транспортера в установку для окончательной обработки.

Заменив оператора линии автоматизированным манипулятором с бортовым контроллером, осуществляющим в реальном масштабе времени обработку поступивших деталей, последовательность обработки которых реализуется в зависимости от требуемой операции, мы можем получить простую, надежную и эффективную систему с относительно высокой технологической гибкостью и эффективностью.

При проектировании, системы управления автоматизированным манипулятором строится как набор функционально законченных подсистем датчиков, схватов, приводов и т.д. с взаимно согласованными параметрами производительности.

Режим гибкой автоматизации должен быть обеспечен:

– совмещением обработки последовательности деталей по индивидуальным технологическим программам обработки без предварительного планирования работы манипулятора;

– работой в ритме, определяемом подачей деталей на обработку;

– обслуживанием работы автооператора, доступным непрофессионалу;

– возможностью коррекции процесса обработки деталей с последующим восстановлением прерванного автоматического режима;

– непрерывным контролем и диагностикой аварийных ситуаций в линии.

Робот манипулятор (автооператор) основное средство автоматизации участка термической обработки. На нем интегрированы функции управления и обработки команд [1]. Система управления линией имеет три уровня. На первом автодиспетчер на входе линии – он обеспечивает в реальном масштабе времени оптимальную работу. Второй уровень – бортовой контроллер – он осуществляет совместную обработку запущенных в линию деталей по индивидуальным технологическим операциям обработки. Контроль режимов технологических операций в процессных планах, задание режимов и контроль нормального состояния операций. Третий уровень – локальные средства автоматизации. В процессе работы линии эвристические правила предпочтения, реализуемые автооператором, обеспечивают минимизацию среднего времени пролеживания деталей на входе линии, величина среднего времени пролеживания является критерием эффективности работы линии в условиях мелкосерийного производства [2]. Для различных конструкций автооператора применяются роботы грузоподъемностью от 50 до 250 кг. Агрегатированные системы управления, реализованные в виде герметизированных модулей, бесконтактные емкостные и индукционные датчики, система передачи команд с робота и получение сигналов обратной связи – беспроводные оптические – используются системы помехозащищенной локальной связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков, А.Е. Гибкие автоматизированные гальванические линии: хрестоматия / сост.: А.Е. Новиков, А.Б. Даринцева // Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. – 221 с.
2. Карпович, Д.С. Принципы синтеза роботизированного комплекса для процессов термической обработки металла / Д.С. Карпович, В.В. Сарока // тезисы 76-й науч.-технич. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 13-20 февраля 2012г.

М.Ю. Подобед, канд. техн. наук, ст. преп.;
Д.Е. Сидорчик, ст. преп., В.А. Стоцкий, зав. лаб. (БГТУ, г. Минск)

АССИСТЕНТ НОЧНОЙ ЕЗДЫ “ПОВОДЫРЬ”

Надвигающиеся сумерки и ночь – это самое неблагоприятное время суток для вождения. Видимость на дороге снижается в разы.

Статистика показывает, что период с пяти до девяти часов вечера характеризуется наибольшим количеством дорожных происшествий. Но степень их тяжести невелика из-за низкой скорости движения: пробки, светофоры – дороги в это время переполнены транспортом с возвращающимися с работы людьми. Самые тяжелые ДТП происходят в период с девяти вечера до раннего утра. И именно они случаются из-за плохой видимости, пренебрежения правилами дорожного движения, потери бдительности и усталости водителей.

Вождение в темное время по скоростным автомагистралям включает в себя очень важную особенность: как правило, поток неплотный, а максимальная скорость ограничена знаками на отметке 90-120 км/ч, но ограниченная зоной освещения фар зона видимости заставляет водителей двигаться со значительно меньшей скоростью.

Авторами предлагается следующая схема реализации движения по автомагистрали в темное время суток: водитель задает конечный пункт назначения в навигационной системе, и движется по заранее определенному пути. Применение системы навигации позволяет заранее определить точку положения автомобиля в последующие моменты времени. Для увеличения зоны видимости как по ширине дорожного полотна и прилегающих обочин, так и в направлении движения транспортного средства, предлагается, что по заранее определенной траектории движения на оптимальном расстоянии перед автомобилем будет лететь беспилотный летательный аппарат с подвешенными на его фюзеляже осветительными приборами и тепловизорами, детектирующими приближение животных или людей к траектории движения автомобиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Опасность ночной езды. Вождение в темное время суток. Как правильно ездить ночью на машине [Электронный ресурс]. URL: <https://gtshina.ru/buying-a-car/opasnost-nochnoi-ezdy-vozhdenie-v-temnoe-vremya-sutok-kak-pravilno/> (дата обращения: 3.02.2022).

М.Ю. Подобед, ст. преп., канд. техн. наук;
Д.Е. Сидорчик, ст. преп., В.А. Стоцкий, зав. лаб. (БГТУ, г. Минск)

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С РАЗНОЙ ПКС

Одним из важных параметров при выборе модульного автоматического выключателя является стойкость к токам короткого замыкания. Для классификации аппаратов по этому параметру вводится понятие предельной коммутационной стойкости (ПКС), которая определяется значением тока короткого замыкания, при протекании которого автоматический выключатель должен отключиться.

Современные бытовые серии модульных автоматических выключателей обычно имеют значение ПКС 4,5 кА или 6 кА. Раньше встречались модульные автоматические выключатели также с ПКС 3 кА, но сегодня таких уже нет в продаже.

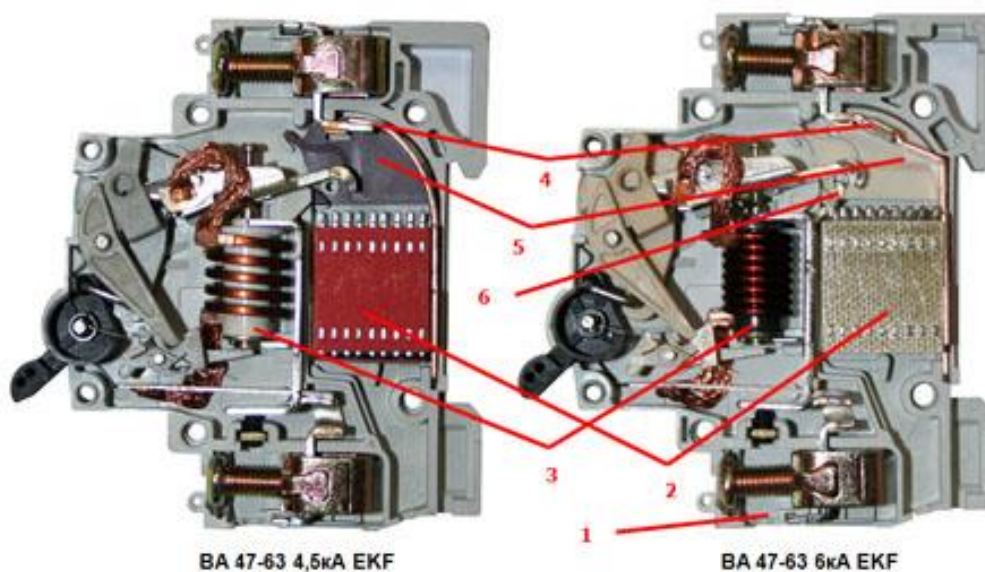


Рисунок 1 – Конструкции модульных автоматических выключателей с ПКС 4,5 и 6 кА (2011 г.)

Разные значения ПКС определяют конструктивные особенности аппаратов, т. к. в аварийных ситуациях через них могут протекать сверхтоки большой силы с большой разрушающей способностью.

Аппараты бренда EKF с ПКС 6 кА в 2011 имели следующие конструктивные особенности в сравнении с автоматическими выключателями, рассчитанными на ПКС 4,5 кА:

Изменен материал корпуса (в автомате 6 кА используется пластик с минеральными добавками).

Дугогасительная камера в автоматах 4,5 кА выполнена из диэлектрического картона, а в автоматах 6 кА – из прессованного стекловолокна.

Изменен электромагнитный расцепитель.

Увеличен неподвижный контакт и изменен угол дугоотвода.

Контакт выполнен из высокотехнологичного сплава с большим содержанием серебра.

Накладка из пластмассы с отделяющей магнитной пластиной.

Дополнительная пластина для более эффективного отвода дуги.

Данные изменения позволяют более эффективно направить дугу в дугогасительную камеру и рассеивать ее без вреда для конструкции автомата. Использование высокотехнологичных материалов позволяет автомату 6кА быть более устойчивым к дуговым разрядам большой мощности. Магнитная пластина защищает корпус автомата от термического воздействия дуги и выполняет экранирующие функции.

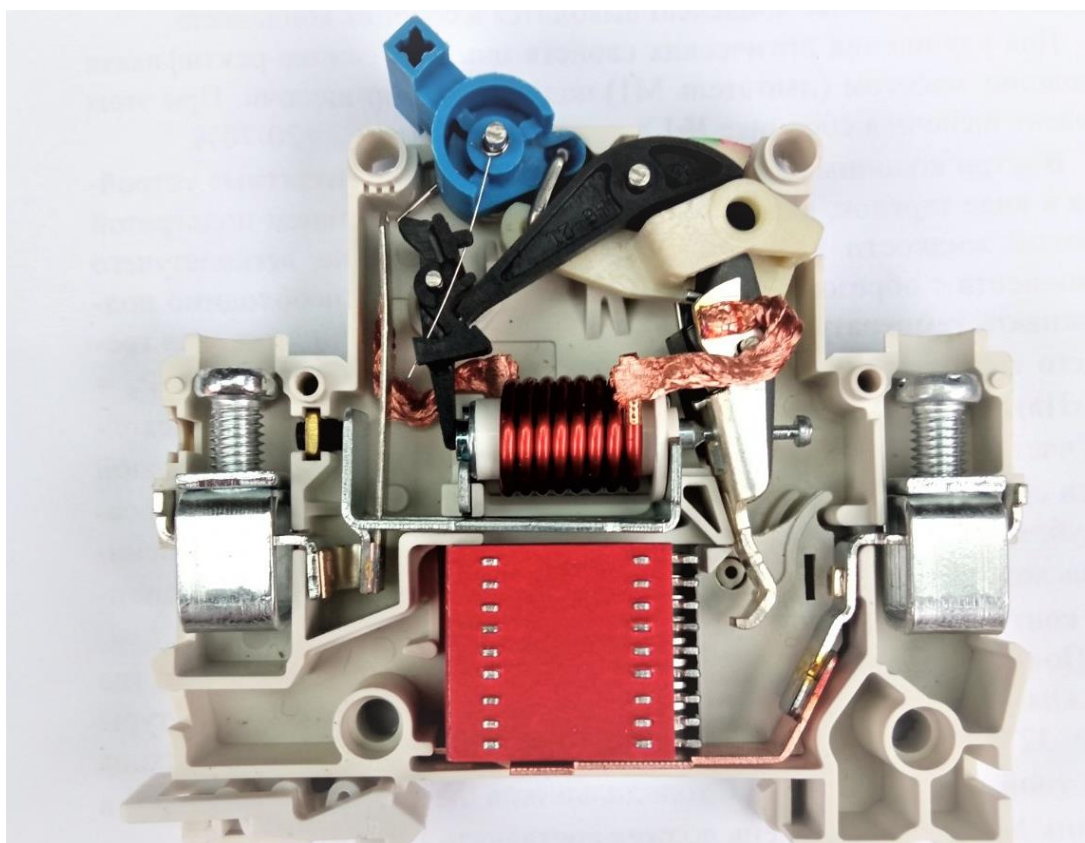


Рисунок 2 – Конструкция модульного автоматического выключателя с ПКС 6 кА

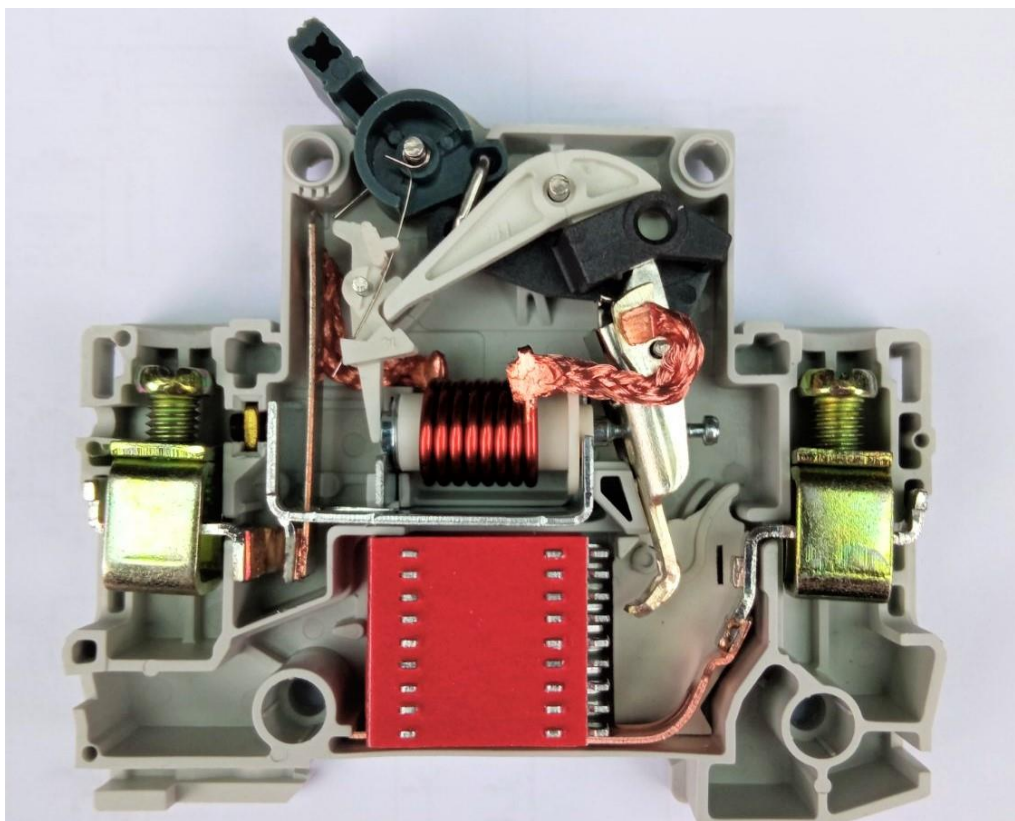


Рисунок 3 – Конструкция модульного автоматического выключателя с ПКС 6 кА

Современные модульные автоматические выключатели из бюджетного сегмента рынка с ПКС 6 кА (рисунок 1) и 4,5 кА (рисунок 2) практически не имеют никаких значимых конструктивных отличий:

- Дугогасительные камеры в автоматах выполнены из диэлектрического картона.
- Количество пластин в дугогасительной камере одинаковое.
- Одинаковые электромагнитные расцепители.
- Одинаковые площади неподвижного и подвижного контактов.
- Отличаются углы дугоотвода.

Имеются накладки из пластмассы в зоне горения дуги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Преимущества модульной автоматики EKF с ПКС 6кА [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elec.ru/publications/peredacha-raspredelenie-i-nakoplenie-elektroenergi/927/> (дата обращения: 3.02.2022).

СПОСОБЫ РЕАЛИЗАЦИИ КАСКАДНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАСОСАМИ НА БАЗЕ ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

С целью оптимизации энергопотребления и гидравлических режимов эксплуатации нередко в насосных станциях используется несколько насосов, т.к. разбор воды не постоянен, а производительности одного насоса недостаточно. Как правило, расход воды имеет максимальные значения в утренние и вечерние часы, при этом давление в системе не должно меняться в широких пределах. Для поддержания давления на протяжении всех суток в пределах нормы используется каскадное управление насосами, которое реализуется с помощью преобразователя частоты (ПЧ).

Рассмотрим ниже наиболее полупоплярные режимы каскадного управления группой насосов:

Режим каскадного управления несколькими насосами с регулированием первого насоса. В этом режиме каждый насос может подключаться к сети питания и отключаться от нее через магнитный контактор, который управляется релейным выходным сигналом инвертора. Точное регулирование расхода/давления осуществляется с помощью постоянного насоса. Добавление или отключение других насосов для увеличения или уменьшения расхода/давления происходит по мере необходимости.

Режим каскадного управления несколькими насосами с «переменным мастером» (рис. 1). В этом режиме каждый насос может подключаться к сети питания и отключаться от нее через магнитный контактор, который управляется релейным выходным сигналом инвертора. Точное регулирование расхода/давления может осуществляться любым насосом помощью дополнительных контакторов. Добавление или отключение других насосов для увеличения или уменьшения расхода/давления происходит по мере необходимости. Управление с «переменным мастером» позволяет исключить избыточную производительность и возникновение гидравлических ударов, обеспечивает возможность смены ведущего насосного агрегата, попеременную работу и равномерный износ всех насосов. К недостаткам относится необходимость применения агрегатов с однотипными двигателями одинаковой мощности, ограниченное количество подключаемых агрегатов.

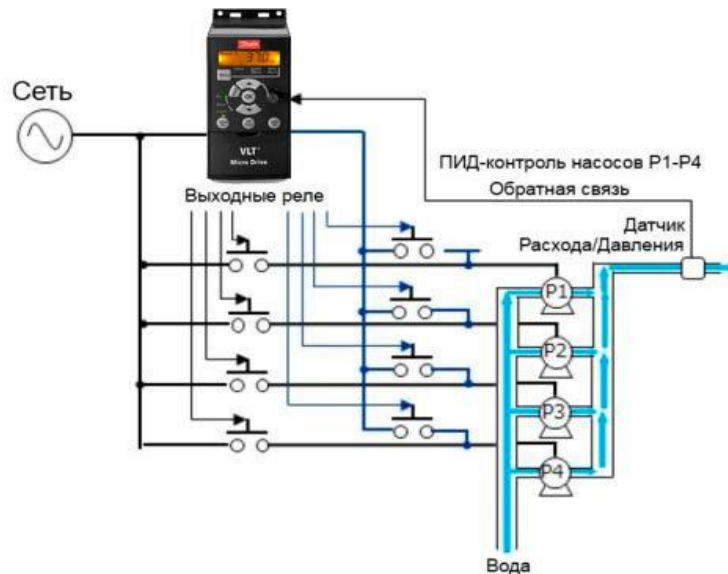


Рисунок 1 – Режим каскадного подключения/отключения нескольких насосов с «переменным мастером»

Регулирование работы нескольких насосов, с помощью индивидуальных частотных преобразователей, объединенных цифровой сетью. «Ведущий» инвертор управляет ПИД-контролем и посылает команду частоты на «ведомый» преобразователь. В случае появления «условия увеличения количества насосов» в связи с увеличением выходной частоты, задание частоты для следующего инвертора увеличивается. В случае появления «условия уменьшения количества насосов» в связи с уменьшением выходной частоты, задание частоты для добавленного инвертора уменьшается. Если задание частоты для добавленного инвертора равно нулю, то добавленный инвертор останавливается. Схема с одним «ведущим» и несколькими «ведомыми» ПЧ отличается точностью поддержания требуемых параметров, широким диапазоном плавного регулирования производительности. К недостаткам схемы относится высокая стоимость и относительная сложность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каскадное управление насосами с преобразователем частоты Toshiba AS3 [Электронный ресурс]. URL: <https://szma.com/stati/kaskadnoe-upravlenie-nasosami-s-preobrazovatelem-chastoty-toshiba-as3/> (дата обращения: 3.02.2022).
2. Каскадное управление насосами с частотным преобразователем [Электронный ресурс]. URL: <https://drives.ru/stati/kaskadnoe-upravlenie-nasosami-s-preobrazovatelyami-chastoty/> (дата обращения: 3.02.2021).

СПОСОБЫ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВОГО РАСЦЕПИТЕЛЯ В КОНСТРУКЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

В конструкции подавляющего большинства современных модульных автоматических выключателей для защиты электрических цепей от длительно протекающих токов перегрузки применяются термобиметаллические исполнительные механизмы (тепловые расцепители). Данные исполнительные механизмы представляют собой биметаллическую пластину (рисунок 1), состоящую из двух материалов с различными температурными коэффициентами линейного расширения, жестко соединённых друг с другом.

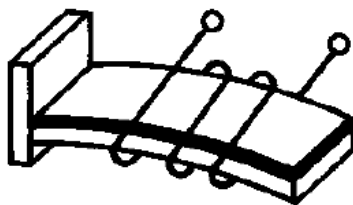


Рисунок 1 – Биметаллическая пластина с нагревательным элементом

Как правило, один конец пластины жестко закреплен, а второй свободно изгибается в зависимости от температуры. Биметаллические пластины обладают рядом существенных недостатков:

- чувствительны к изменениям температуры окружающей среды;
- внешние источники тепла могут вызывать ложные срабатывания;
- потери энергии на нагрев.

В качестве продолжения выше изложенного исполнительного механизма является вариант реализации теплового расцепителя, предложенный компанией ETI серии автоматических выключателей ETIMAT P10, в которых расцепитель состоит из электромагнитной катушки со встроенным биметаллическим диском высокой степени точности (рисунок 2). Биметаллический диск состоит из двух пластин, выполненных из металлов с различным коэффициентом теплового расширения, изменяющих свою форму при изменении температуры. Благодаря инновационной конструкции механизма защиты автоматического выключателя достигаются высокая точность срабатывания и увеличенный диапазон рабочих температур устройств, а также освобождается дополнительное компоновочное пространство в корпусе аппарата.

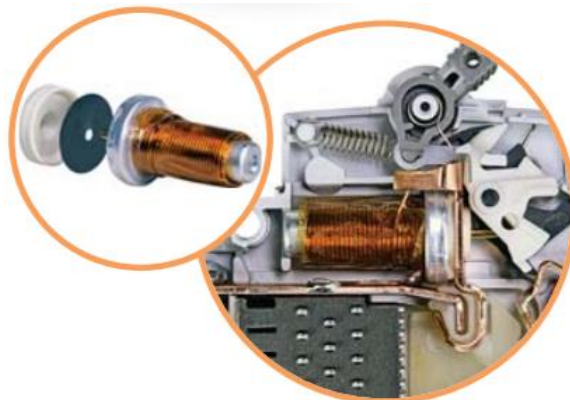


Рисунок 2 – Электромагнитный и тепловой расцепители модульного автоматического выключателя ETI ETIMAT P10

Альтернативным вариантом реализации теплового расцепителя является тепловой выключатель (рисунок 3), представляющий собой герметичный корпус с капиллярной структурой и теплоносителем внутри, температура плавления которого равна температуре срабатывания.

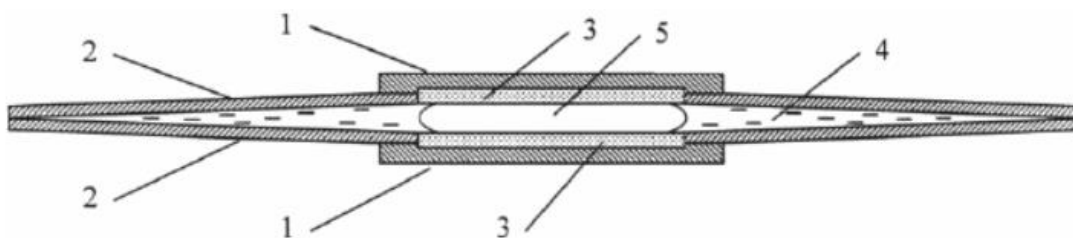


Рисунок 3 – Электромагнитный и тепловой расцепители модульного автоматического выключателя ETI ETIMAT P10

Электронные расцепители на базе микроконтроллеров в данной статье не рассматриваются, по причине того, что они, практически, не применяются в конструкциях модульных автоматических выключателей, а только лишь в автоматических выключателях в литом корпусе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розанов Ю.К. Электрические и электронные аппараты. – М.: Информэлектро, 2001. – 412 с.
2. Рак А.Л., Мазюк В.В., Пучко А.А.; ГНУ “Инст. порошков. металлургии”. Тепловой выключатель. Описание полезной модели к патенту ВУ 4968, МПК (2006) F28D 15/00; Заявл. 28.03.2008; Опубл. 28.02.2009.

В.П. Кобринец, доц., канд. техн. наук;
Н.П. Коровкина, доц., канд. техн. наук;
Н.Н. Пустовалова, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕКТОРНО-ИНДУКТОРНЫХ ПРИВОДОВ (ВИП) В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

При оценке энергоэффективности работы технологического оборудования промышленных предприятий необходимо учитывать, что доля затрат на электроэнергию в зависимости от энергоемкости производства варьируется от незначительной до существенной. По оценкам специалистов удвоение цен на электроэнергию вызывает рост цен в промышленности на выпускаемую продукцию на 6-15%. В связи с этим актуальной задачей становится переход на энергосберегающий электропривод, к которому относится вентильно-индукторный.

Применение вентильно-индукторного электропривода связано с рядом его некоторых особенностей:

– по основным массогабаритным и энергетическим показателям ВИП не уступает и даже превосходит частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Это связано с важной особенностью ВИМ – полезным использованием насыщения магнитной цепи;

– благоприятные функциональные особенности ВИП: большие моменты при низких скоростях и небольших токах, гибкое управление скоростью, широкий диапазон главного регулирования скорости – делают этот привод очень привлекательным для широких применений;

– большое разнообразие структур ВИП делают этот привод хорошо применимым как в низкооборотных (сотни оборотов в минуту), так и высокооборотных (десятки тысяч оборотов в минуту) версиях.

Итак, ВИП – серьезный конкурент современных регулируемых электроприводов без ограничения по мощности, скорости и т. д.

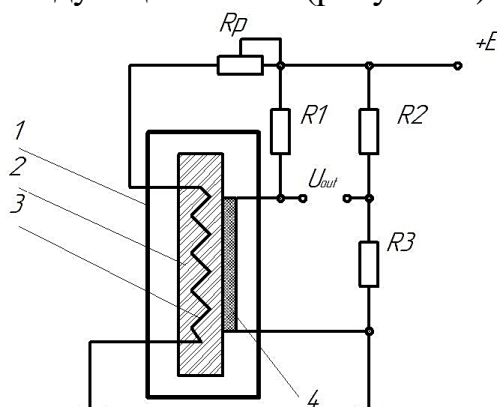
Также важной проблемой является определение экономии электрической энергии при замене асинхронных двигателей вентильно-индукторными. Экономичность была оценена по: сэкономленной электроэнергии (ΔW), экономии денежных средств на электроэнергию ($C_{сэ}$), сроку окупаемости ($T_{ок}$).

И.О. Оробей, доц., канд. техн. наук;
 Д.А. Гринюк, доц., канд. техн. наук; М.А. Анкуда, ст. преп.;
 Н.М. Олиферович, ассист.; И.Г. Сухорукова, ст. преп.
 (БГТУ г. Минск)

АДАПТИВНАЯ ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ОТ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОЧНЫХ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ

В основе работы полупроводниковых сенсоров на оксидных пленках используется эффект изменения электрического сопротивления некоторых полупроводниковых материалов (поверхностей монокристаллов, пленок), возникающего вследствие адсорбции газа. При появлении исследуемого газа на поверхности сенсора будет происходить процесс его окисления с последующим выделением электронов в обедненный поверхностный слой, что приведет к повышению его проводимости.

В общем случае полупроводниковый газоанализатор можно представить в виде следующей схемы (рисунок 1).



1 – корпус чувствительного элемента, 2 – подложка керамическая,
 3 – спираль нагрева, 4 – полупроводник

**Рисунок 1 – Электрическая схема газоанализатора
 полупроводникового типа**

От источника напряжения $+E$ происходит нагрев с помощью спирали 3 керамической подложки 2 и полупроводника 4. Температуру нагрева датчика можно устанавливать с помощью регулируемого резистора R_p . По краям легированного полупроводника, проводимость которого будет меняться под действием исследуемого продуваемого газа, размещают два электрода. В результате между электродами возникает некоторое параметрическое сопротивление R_a . Сопротивление R_a вместе с R_1, R_2, R_3 образует мостовую схему, которое

позволяет переводить изменение сопротивления датчика в электрический сигнал U_{out} .

Типичное устройства обработки информации от полупроводниковых пленочных газовых сенсоров можно отобразить в виде структурной схемы (рисунок 2).

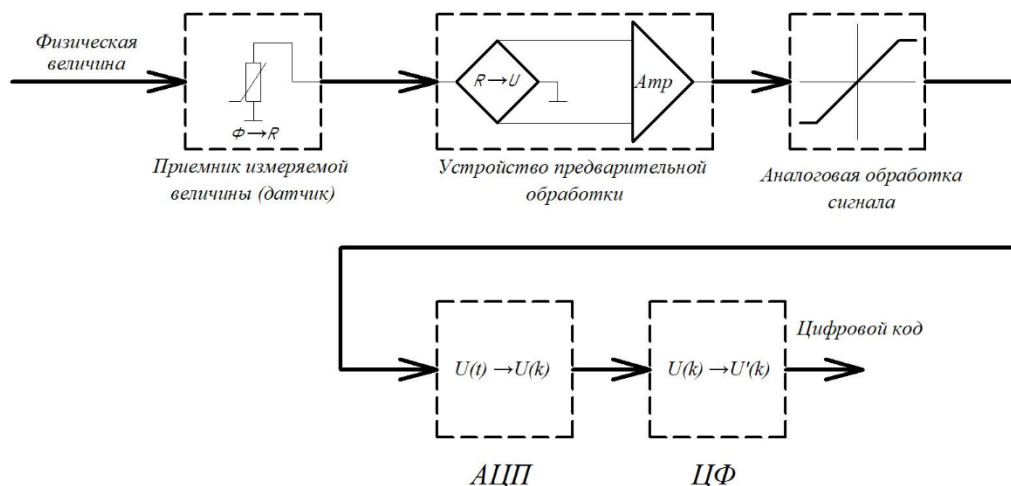


Рисунок 2 - Структурная схема газоанализатора полупроводникового типа

Датчики служат источником информации и состоят из чувствительного элемента, схемы обработки полученного сигнала, а также для создания современных систем обработки информации предпочтительна выдача датчиком цифрового сигнала, что требует в их составе наличие аналого-цифрового преобразователя и блока цифровой фильтрации. Применение цифровых адаптивных фильтров (АФ) актуально при использовании для обработки сигнала контроллеров с быстродействующим аналогово-цифровым преобразователем (АЦП).

В существующих методах цифровой адаптивной фильтрации применяют фильтры скользящего среднего с изменяемыми весовыми коэффициентами. Фильтр с КИХ требует большого объема памяти для хранения усредняемых значений и матрицы весовых коэффициентов и имеет ограниченное возрастание точности с течением времени [1].

Сущность предложенного цифрового АФ основывается на использовании аналого-цифрового преобразования сигнала с последующей фильтрацией полученной цифровой последовательности с дополнительной локальной аппроксимацией некоторой длины временной последовательности квадратичной или линейной зависимостью и определением интегральных значений показателя скорости и ускорения [2]. Данный способ можно отнести к методам локальной аппроксимации. Функциональная схема АФ приведена на рисунке 3.

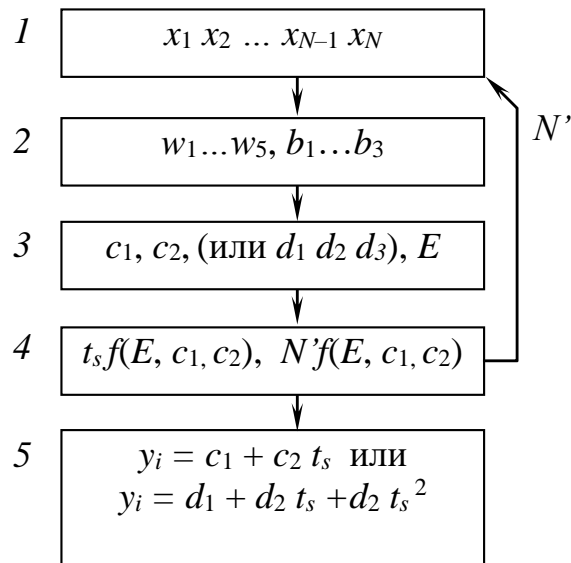


Рисунок 3 – Автономная работа адаптации

Работа адаптации предполагает проведение постоянных расчетов по линейной или параболической аппроксимации. Блок 1 запоминает требуемую длину последних значений отсчетов АЦП в соответствии с окном аппроксимации N , блок 2 производит расчет значений $w_1...w_5$, $b_1...b_3$, блок 3 производит расчет c_1, c_2 (или d_1, d_2, d_3) и вычисление величины дисперсии отклонения E значений от аппроксимированных кривых. Блок 4 позволяет осуществлять выбор между линейной и квадратичной аппроксимацией и их параметрами. Блок 5 реализует аппроксимацию.

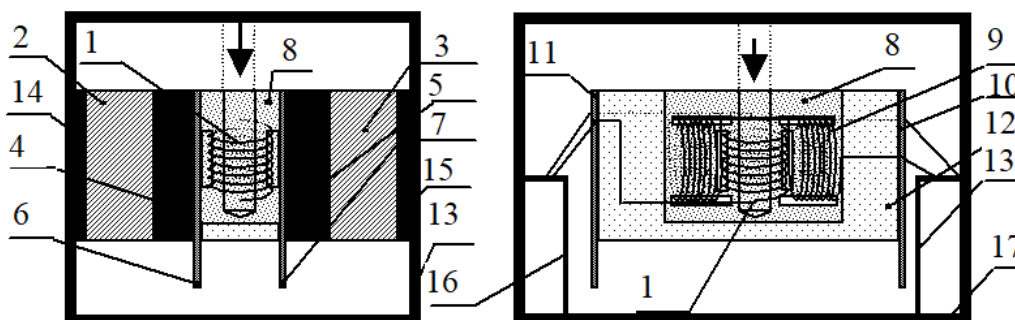
Метод наименьших квадратов следит за адекватностью выбранного решения, поскольку минимизация данной суммы говорит и о минимальных отклонениях результатов аппроксимации от истинных значений контролируемого параметра. Эта особенность позволяет производить постоянное обучение фильтра под изменяющиеся условия и изменять функции $t_s f(E, c_1, c_2), N' f(E, c_1, c_2)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фильтр с адаптацией по вероятностному критерию / И. О. Оробей [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. - Минск : БГТУ, 2020. - № 1 (230). - С. 50-56
2. Адаптивная фильтрация для обработки сигналов в режиме реального времени при получении информации от параметрического автодина / И. О. Оробей [и др.] // Химическая технология и техника : материалы 85-ой науч.-техн. конференции профес.-препод. состава, научн. сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1–13 февраля 2021 г. - Минск : БГТУ, 2021. - С. 267-269.

ЮСТИРОВКА МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПЕРВИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЯМР-СИГНАЛОВ

Наиболее критичным узлом при регистрации ЯМР-сигналов является первичный преобразователь, который должен обладать высокой помехоустойчивостью к электромагнитным и механическим воздействиям и малым энергопотреблением. Схема преобразователя, удовлетворяющего перечисленным требованиям, представлена на рисунке 1 [1].



- 1 – приемная катушка; 2, 3 – постоянные магниты; 4, 5 – полюсные наконечники;
 6, 7 – токовые шиммы; 8 – корпус кюветы; 9 – катушка возбуждения;
 10, 11 – клемные колодки; 12 – экран кюветы; 13 – ярмо магнитной системы;
 14, 15 – ферромагнитные вставки; 16 – приемный усилитель;
 17 – блок управления вектором намагниченности

Рисунок 1 – Первичный преобразователь импульсного спектрометра

Для получения первоначальной однородности поля отношение характерного размера полюсных наконечников (диаметра или стороны квадрата) к длине рабочего зазора должно быть не менее 5. Для создания магнитного поля можно применять два постоянных магнита. При этом расчетное значение индукции в центре зазора пятна однородности 10x10 мм не должно быть ниже 0,2 Тл для магнитной системы с ярмом броневого типа.

В классической схеме реализации регистратора ЯМР-сигнала анализатор может быть выполнен на катушках Блоха, оси которых расположены под углом 90° . Рабочий объем кюветы с образцом находится в центре скрещенных катушек Блоха в пределах пятна однородности поля. Кювета с катушками монтируется на латунный корпус с плоскопараллельными поверхностями, к которым прижимаются по-

люсные наконечники.

Для создания более интенсивного магнитного поля вместо постоянных магнитов можно применять ферромагнитные вставки, вокруг которых будут расположены катушки электромагнита, а вместо катушек Блоха можно использовать одну катушка регистрации с автодином.

Обычно окончательную юстировку магнитного поля реализуют механическим путем с помощью регулировочных винтов, которые изменяют положение постоянных магнитов или полюсных наконечников для обеспечения нужной индукции в центре пятна однородности, которое должно находиться в месте расположения образца. При этом магнитная система должна свободно перемещаться относительно корпуса анализатора. После установки в некоторое среднее положение снимается сигнал с первичного преобразователя. Далее регулировочными юстировочными винтами изменяют положение магнитной системы до тех пор, пока не будет получен максимальный уровень сигнала при неизменном анализируемом образце.

Подобный способ юстировки усложняет работу с устройством и исключает возможность автоматической подстройки.

Поэтому окончательная юстировку можно осуществить при помощи токовых шимов [2], которые позволяют изменять градиент поля в ортогональных направлениях. Юстировка производится током в катушки градиента, расположенными вместе с катушками модуляции между полюсными наконечниками и камерой поляризатора, – шиммы первого порядка. Выводы катушек и шиммов присоединяются к платам с электронными компонентами, смонтированными внутри ярама магнитной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Химическая технология и техника: тезисы докладов 80-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1-12 февраля 2016 г./Белорусский государственный технологический университет; [гл. ред. ИМ Жарский].-Минск: БГТУ, 2016.-С. 33.

2. Borer, K. The nuclear magnetic resonance magnetometer type 9298 / K. Borer, G. Fremont.– Geneva:–Preprint CERN77-19, 1977. –23 p.

А.В. Овсянников, доц., канд. техн. наук (БГУ, г. Минск);
О.Г. Барашко, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ГИСТОГРАММНЫЙ ФИЛЬТР С НАСТРОЙКОЙ ПАРАМЕТРА СГЛАЖИВАНИЯ

Цель работы построить гистограммный фильтр, эффективно работающий на небольшом количестве данных, устраняющий изрезанность гистограммы в этом случае, ослабляющий зависимость формы гистограммы от числа интервалов группирования данных и дающий «правильную» идентификацию закона распределения.

Проблематика гистограммных оценок плотности хорошо известна: отсутствие единых взглядов на определение числа интервалов группирования данных (ГОСТ Р 50.1.033-2001 Прикладная статистика) и сильная изрезанность гистограммы при относительно малом числе наблюдений [1, 2].

Устранение этих проблем заключается в применении гистограммных фильтров, например, усредняющего, медианного, гауссовского и др. В то же время, их применение эмпирически интуитивно и исходит в основном из практической целесообразности. В работе предлагается теоретически обоснованная методика реализации гистограммного фильтра, учитывающая следующие особенности.

Прежде всего, предполагается отказаться от единичной функции включения данных в интервал группирования, поскольку данные могут находиться вблизи границ интервала и при изменении числа интервалов оказаться в соседнем интервале. Предлагается заменить единичную функцию включения взвешенной функцией, учитывающей возможный вес «ошибочно» попавших в соседние интервалы данных:

$$u_j = \alpha_j v_{j-1} + k_j v_j + \beta_j v_{j+1}, \quad \alpha_j + k_j + \beta_j = 1, \quad (1)$$

где v_j – число данных попавших в j -тый интервал группирования, $\{\alpha_j, k_j, \beta_j\}$ – весовые коэффициенты интервалов. В простейшем случае весовые коэффициенты являются постоянными величинами и могут быть выражены через коэффициент k – параметр сглаживания.

Введение весовых коэффициентов позволяет перегруппировать данные наблюдения так, чтобы уменьшилась «изрезанность» гистограммы и тем самым обеспечивалась ее сглаженность.

В работе, с использованием статистических методов, найдено выражение для коэффициента сглаживания

$$k = 1 - \frac{2}{3 + \frac{n\Delta_x^4}{2(m-1)} \int_{\gamma} \left(\frac{f^{**}}{f} \right)^2 f dx}, \quad (2)$$

где m – число интервалов, n – число данных наблюдения, Δ_x – ширина интервала группирования данных, f – предполагаемая к идентификации плотность распределения, γ – доверительный интервал.

Формула (2) позволяет сделать ряд важных выводов. Во-первых, при достаточно больших объемах наблюдаемых данных коэффициент сглаживания естественным образом стремится к единице. При малых объемах данных, когда вторая составляющая знаменателя оказывается численно незначительной, коэффициент сглаживания стремится к одной трети, что также естественным образом соответствует равномерно сглаживающему гистограммному фильтру. Во-вторых, формула (2) позволяет определять коэффициент сглаживания заранее, по имеющимся параметрам $\{n, m\}$. В-третьих, составляющая, учитывающая априорную информацию о идентифицируемом законе распределения может быть определена для класса распределений. Например, класса приближенно нормальных распределений или класса приближенно равномерных распределений.

Еще одно следствие формулы (2) заключается в том, что, задавая фиксированное небольшое расхождение коэффициента сглаживания от единицы можно получить неявную формулу связывающую число интервалов группирования данных с их объемом. Такая неявная связь двух параметров $\{n, m\}$ является теоретически обоснованной и очевидным образом зависит от формы идентифицируемого закона распределения.

Целесообразно применение полученных теоретических результатов с целью эффективной и быстрой (на малых объемах данных) идентификации изменяющихся законов распределения в описательной статистике, при обработке гистограмм изображений. Предложенная методика и разработанный алгоритм гистограммного фильтра легко встраивается в существующие алгоритмы построения гистограмм, например, функции `hist`, `histfit` платформы Matlab.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов Ю.Н. Оптимальное разбиение гистограммы для оценивания выборочной плотности функции распределения нестационарного временного ряда. Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2013. № 14. 26 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2013-14>

2. Chong Gu, Yongho Jeon and Yi Lin. Nonparametric density estimation in high-dimensions. *Statistica Sinica* 23 (2013), 1131-1153.

О.Г. Барашко, канд. техн. наук, доц.;
В.И. Бакаленко, канд. техн. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ПРОЕКТА ВНЕДРЕНИЯ ERP-СИСТЕМЫ

Жизненный цикл проекта ERP-системы – это набор фаз, через которые проходит проект с момента его начала до момента завершения. Он определяет основные рамки управления проектом:

- начало проекта – инициализация работ по проекту внедрения ERP-системы;
- организация и подготовка – анализ, проектирование, планирование;
- выполнение работ – разработка, настройка, тестирование, обучение, поставка, запуск в эксплуатацию;
- завершение проекта – окончание работ по проекту, извлеченные уроки, переход к поддержке системы.

Особенность начальной стадии проекта внедрения ERP-системы заключается в том, что основной пик затрат и привлечения исполнителей приходится на фазу выполнения работ и к завершению проекта они снижаются. Тогда как вероятность успешного завершения проекта обратна вероятности срабатывания проектных рисков (вероятности рисков в начале проекта максимальны) и к концу проекта без сработанных рисков вероятность успешного завершения максимальна.

Обычно, сложные проекты внедрения ERP-системы разбиваются на этапы. Имея общие фазы начала и завершения проекта для всех этапов, внутри каждого этапа повторяются фазы организации, подготовки и выполнения работ. При этом выходом этапа может быть запуск в промышленную эксплуатацию какого-то ограниченного набора блоков ERP-системы. А сами этапы могут идти с наложением друг на друга и в общем случае делаться даже разными командами.

Возможность множества проектов внедрения ERP продиктована тем, что в основе лежит готовая к использованию система, а бизнес-процессы и требования к автоматизации у разных организаций разные, поэтому степень изменений системы и частота поставок (передача блоков и функциональности в эксплуатацию) в проектах отличаются.

Наибольшее распространение получили следующие типы жизненных циклов проекта внедрения ERP-систем:

- предиктивный – содержание, сроки и стоимость определяются на ранних фазах, далее идет последовательное однократное выполнение фаз;

– итеративный – последовательные итеративные улучшения или модификация системы на основе обратной связи через настройку прототипа;

– инкрементальный – частая поставка готовой к использованию функциональности системы;

– гибкий – подход, который сочетает черты итеративного и инкрементального жизненных циклов и направлен на внедрение системы с увеличением частоты поставок (частый перевод функциональности в эксплуатацию, получение обратной связи от пользователей, agile-методики);

– гибридный – подход, который подразумевает комбинацию предиктивного, итеративного, инкрементального и/или гибкого подходов.

Очень удобно, что все типы жизненных циклов основываются на одинаковом наборе фаз внутри этапов (блоков из последовательных фаз). Фаза проекта – совокупность логически связанных операций проекта, завершающихся достижением одного или ряда поставляемых результатов. Свойства конкретной фазы могут быть измеряемыми и уникальными. Свойства могут включать в себя:

– название (например, «фаза 1», «фаза 2», «Фаза подготовки предложения»);

– количество фаз (например, три фазы в проекте;

– длительность (например, неделя, месяц, квартал);

– требования к ресурсам (например, человеческие ресурсы, сооружения, оборудование);

– критерии входа для проекта, чтобы перейти в данную фазу (например, необходимые одобрения задокументированы, необходимые документы разработаны);

– критерии выхода для проекта, чтобы завершить данную фазу (например, одобрения задокументированы, документы разработаны, поставляемые результаты завершены).

В целом, для проектов внедрения ERP-системы желательно выбирать итеративный жизненный цикл, т.к. в проекте возможна высокая степень изменений (или работ, связанных с настройкой множества блоков), а частота поставки низкая. Однако от конкретной ситуации допустимы и другие варианты. При этом фазы группируются в этапы проекта, которые могут идти последовательно или с наложением, это переводит жизненный цикл в формат гибких или гибридных.

О.Г. Барашко, канд. техн. наук, доц. (БГТУ, г. Минск);
А.В. Овсянников, канд. техн. наук, доц. (БГУ, г. Минск)

АНАЛИЗ И НАСТРОЙКА ПРОТОТИПА ERP-СИСТЕМЫ

В процессе создания ERP-системы обязательно встает задача проведения как экспресс-анализа, так и полноценного анализа для выработки понимания границ проекта и его бюджета. Как и что анализировать? В общем случае всегда есть что анализировать, поэтому для экспресс-анализа необходимы:

- должностные инструкции сотрудников;
- регламенты по организации (описание бизнес-процессов, документооборота, последовательности действий сотрудников);
- приказы по процессам в организации (аналог регламентов);
- схема организационной структуры;
- таблица структурных единиц и количество сотрудников потенциальных пользователей КИС в них;
- список текущих информационных систем с комментариями, кто и что в них делает, какие потоки данных между системами;
- инструкции пользователей от текущих информационных систем;
- примеры управленческих отчетов, которые предстоит автоматизировать с уточнением: кто их делает, как часто, как долго, где берет информацию, кто и что потом анализирует;
- типовые бухгалтерские проводки;
- список ключевых сотрудников по подразделениям и бизнес-процессам;
- иные документы в зависимости от специфики производства, примеры бланков внутреннего документооборота.

После сбора всей необходимой информации, проведя соответствующие опросы и интервью, необходимо приступить к составлению отчета об экспресс-обследовании, а после (через несколько итераций встреч, если требуется) – и к составлению концептуального проекта по созданию прототипа ERP-системы. Его структура должна включать:

- история изменений – версии, даты, кто и что менял (документ может уточняться итерационно по мере согласования и обсуждения презентаций);
- принятые сокращения, понятия и определения - словарь сокращений и принятых в проекте и используемых далее по тексту терминов;

- введение – назначение документа, когда и как проходил анализ и концептуальное проектирование, кто участвовал;
- общие сведения о заказчике и области автоматизации – описание контекста для последующих пунктов: об организации, бизнес-направлении, оргструктура, используемое программное обеспечение;
- бизнес-требования - входящие требования для автоматизации (по мере концептуального проектирования уточняемые);
- основные бизнес-процессы – описания бизнес-процессов в виде схем (или иерархических списков) и пояснений к ним;
- концепция решения – долгосрочное видение системы (включая перспективное), которая должна быть создана и внедрена и которая будет удовлетворять всем бизнес-требованиям, разделение требований по этапам проекта и целевые схемы системы на каждый этап;
- факторы успеха проекта – критерии, по которым можно будет измерить и определить, что проект завершился успешно.
- подписи согласующих;
- приложения (необходимые схемы, таблицы, графики, ссылки на другие файлы).

Инструментарий для настройки прототипа ERP-системы базируется на подготовке схематичного описания бизнес-процессов и чаще всего он специализированный. Наибольшее распространение получили следующие спецификации [1].

Business Flow Chart – функциональные блок-схемы (бизнес-схемы). Адаптация использования блок-схем описания программных алгоритмов для бизнес-схем. Детальное описание блок-схем приведено в ГОСТ 19.701-90 (ИСО 5807-85) «Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения».

UML (Unified Modeling Language) – унифицированный язык моделирования. Семейство нескольких нотаций для описания любых систем, включая описание бизнес-процессов. Позволяет перейти от описаний системы непосредственно к написанию компьютерных программ. Большинство нотаций посвящено именно архитектуре программ, нотации для бизнес-процессов довольно ограничены по возможностям и визуализации.

IDEF (Integrated DEFinition) – семейство нотаций для решения задач моделирования сложных систем. Для задачи описания бизнес-процессов интерес представляют IDEF0 и IDEF3: IDEF0 (Function Modeling) – методология функционального моделирования. С помощью схем IDEF0 изучаемая система (предприятие) предстает перед разработчиками и аналитиками в виде набора взаимосвязанных функций (функциональных блоков). Моделирование средствами IDEF0

обычно является первым этапом изучения и высокоуровневого описания любой системы (предприятия); IDEF3 (Process Description Capture) – методология документирования процессов, происходящих в системе (предприятии), описываются сценарий и последовательность операций для каждого процесса. IDEF3 имеет прямую взаимосвязь с IDEF0 – каждая функция (функциональный блок) может быть представлена в виде отдельного процесса схемой IDEF3.

DFD (Data Flow Diagrams) – диаграммы потоков данных. Инструмент структурного анализа и проектирования информационных систем. Является структурной нотацией, используемой в бизнес-анализе и в анализе информационных систем. Схемы DFD хорошо сочетаются с IDEF0 и IDEF3. Смысл DFD-блока, отображающего функцию, совпадает со смыслом блоков IDEF0 и IDEF3, заключается в преобразовании входов в выходы. DFD-блоки также имеют входы и выходы, но не поддерживают управление и исполнителей. DFD может быть высокоуровневой схемой, которая далее раскрывается в IDEF0.

EPC (Event-Driven Process Chain) – событийная цепочка процессов, ключевыми элементами которой являются «События» и «Функции». Очень распространенная нотация для моделирования и описания бизнес-процессов, хорошо сочетается с IDEF0, как более наглядная замена нотации IDEF3. Имеет расширенный вариант – eEPC: eEPC (extended Event-Driven Process Chain) – нестрогий вариант EPC, когда можно использовать дополнительные элементы схем для большей наглядности – например, «база данных» символом цилиндра.

BPMN (Business Process Model and Notation) – нотация для моделирования бизнес-процессов. Имеет простой и понятный конечному пользователю набор элементов. Нотация современная и сегодня активно используется для описания бизнес-процессов, для чего она и была изначально предназначена, а не адаптирована из описания IT-систем.

Важно учитывать, что со схемами предстоит работать не только на экране в инструменте проектирования (где может быть удобная навигация между подчиненными и родительскими схемами), но и на бумаге (как часть отчета).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобровников, А.Э. Введение в управление проектами внедрения ERP- систем. М.: 1С-Публишинг, 2021. – 320 с.

ПЕРСПЕКТИВНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОРЫНКА

В общем виде рынок электроэнергии может включать (в том числе и одновременно) несколько видов или секторов рынка.

Регулируемый рынок – рынок, на котором торговля электроэнергией осуществляется по тарифам, утвержденным регулирующим органом. Состав участников рынка и организация платежей могут отличаться в зависимости от степени развития рынка. Цена для потребителей складывается как средневзвешенная по производителям электроэнергии.

Спотовый, или текущий рынок – разновидность конкурентного рынка, на котором торговля электроэнергией осуществляется, как правило, на сутки вперед (от англ. on the spot – «торговля на месте»). Расчет с поставщиками и покупателями производится по равновесной цене, устанавливаемой в результате аукциона ценовых заявок на покупку и продажу электроэнергии. Следовательно, равновесная цена спроса и предложения на спотовом рынке – это цена электростанции, замыкающей баланс электроэнергии. У спотового рынка электроэнергии отмечаются два важных недостатка, которые в конце концов могут привести к невозможности использовать его для справедливой конкурентной торговли электроэнергией:

Возможность производителей электроэнергии использовать негласный сговор для завышения цены электроэнергии на замыкающей электростанции. Таким образом, потребители электроэнергии полностью исключаются из процесса формирования цены.

Отсутствие ценовых сигналов для развития генерирующих мощностей вследствие краткосрочности этих сигналов, поэтому при торговле электроэнергией только через спотовый рынок нельзя обеспечить справедливую конкуренцию. По этой же причине со временем обострится проблема развития генерирующих мощностей и создания достаточных резервов.

Рынок двусторонних договоров, или форвардный рынок – разновидность конкурентного рынка, на котором заключаются договоры прямого платежа между поставщиком и покупателем на период будущей поставки на заранее оговоренных условиях. Договоры могут заключаться на 10–15 лет, в течение которых могут

быть построены и окупиться новые электростанции. Долгосрочная цена на таком рынке определяется как равновесная на пересечении долгосрочных кривых спроса и предложения.

Рынки электроэнергии стран СНГ и Балтии представляют собой различные разновидности, в зависимости от степени разделения вертикально-интегрированных компаний, открытости рынка для отдельных субъектов, участия государства и других факторов.

Функции системно-сетевому оператору зависят от вида рынка:

- на регулируемом рынке – определение суммарного объема генерации с учетом планируемого потребления и объемов импорта/экспорта и определение загрузки электростанций на основе расходных характеристик топлива или стоимостных характеристик;
- на спотовом рынке – оценка реализуемости результатов торгов с учетом обеспечения требований надежности;
- на рынке двусторонних договоров – учет двусторонних договоров, включая требование, касающееся отсутствия существенных системных ограничений.

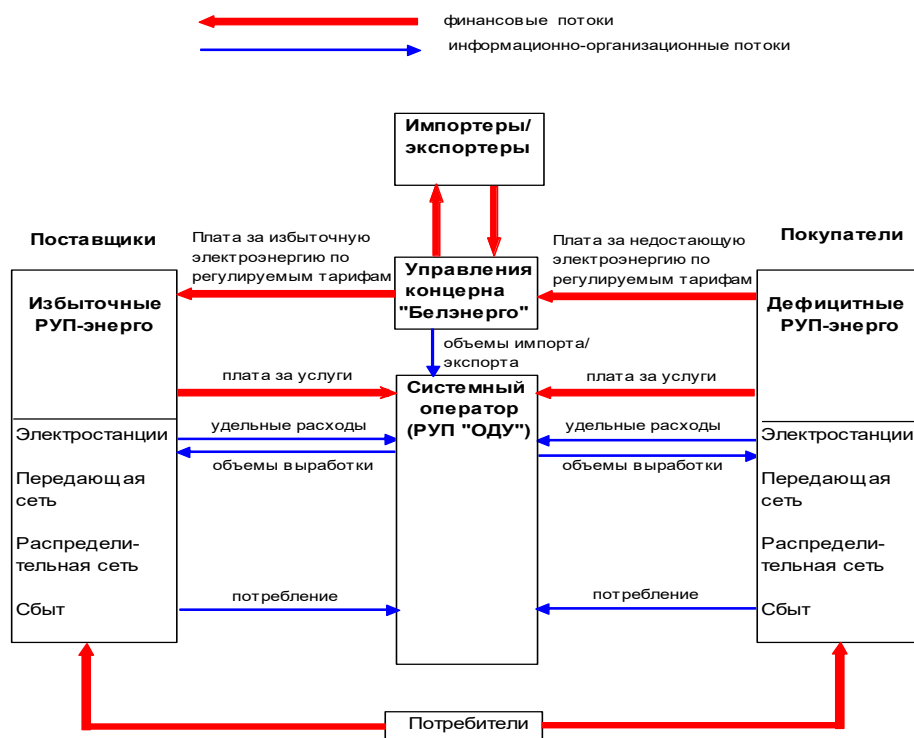


Рисунок 1 – Структурная схема энергорынка

Рынок электроэнергии в Беларуси в настоящее время является полностью регулируемым и обусловлен вертикально-интегрированной структурой отрасли. Поставщиками электроэнергии на рынок являются избыточные РУП-энерго в объеме, соответствующем этому избытку. Покупателями электроэнергии

являются дефицитные РУП-энерго в объеме своего дефицита. Расчет между РУП-энерго за проданную и купленную электроэнергию осуществляется Управлением по поставкам энергоносителей концерна «Белэнерго». Электростанции не являются самостоятельными юридическими лицами и не имеют собственного тарифа на выработку электроэнергии. Распределение нагрузки между электростанциями осуществляется по критерию минимума расхода топлива в системе на основе характеристик относительного прироста удельных расходов топлива на отпуск электроэнергии на электростанциях.

Данный принцип распределения нагрузки обладает существенными недостатками, так как не учитывает условно-постоянных затрат и не стимулирует снижения расходов электростанции.

Для развития рыночных отношений необходимо, даже при сохранении структуры отрасли, перейти к принципу распределения нагрузки между электростанциями на основе их ценовых характеристик, полученных в рамках отдельного учета генерации, передачи и распределения электроэнергии.

Дальнейшие изменения могут быть связаны со структурными преобразованиями в отрасли: выделение из состава РУП-энерго крупных электростанций с установлением тарифов на отпуск электроэнергии от них, а также выделение передающей сети с созданием системно-сетевых операторов и установлением тарифов на передачу и распределение.

Проведению указанных преобразований должно предшествовать создание законодательной базы с тем, чтобы были определены права и обязанности субъектов рынка, особенно в части обеспечения надежности, а их взаимоотношения регламентированы.

В процессе исследования проблемных вопросов формирования реального рынка для оптимального функционирования Белорусской энергосистемы была выполнена статистическая обработка контрольных сезонных замеров основных параметров и характеристик межсистемных транзитов. С целью формирования экспортного потенциала Белорусского энергообъединения были рассмотрены основные потоки мощности по межсистемным связям российского, прибалтийского и украинского направлений. Были также рассмотрены основные потоки мощности по внутренним наиболее загруженным линиям электропередачи за последние 5 лет с учетом модернизации энергоемких промышленных предприятий.

СТРУКТУРНО ОПТИМИЗИРУЕМЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Системы автоматического управления (САУ) называются структурно оптимизируемыми, если и структура и параметры регулятора оптимально подстраиваются под структуру и параметры модели объекта управления (ОУ). Структурно оптимизируемые регуляторы подразделяются на компенсационные регуляторы входа – выхода и регуляторы с управлением по вектору переменных состояния (регуляторы состояния). При проектировании подобных регуляторов используют правила настройки, критерии качества или задают желаемые полюса САУ.

Компенсационные регуляторы проектируются с таким расчетом, чтобы снизить влияние некоторых параметров объектов на качество управления. При этом различают следующие модификации регуляторов этого типа:

Апериодический регулятор – обеспечивает окончание переходного процесса при ступенчатом возмущении за заданное время.

Предиктор – регулятор с предсказанием реакции, где модель объекта включается в обратную связь регулятора.

Регулятор с минимальной дисперсией – применяется в стохастических системах (когда вход/управляющее воздействие – случайная величина), минимизирует дисперсию значений регулируемой переменной.

Регуляторы состояния контролируют характеристики вектора переменных состояния ОУ, описанного уравнениями в пространстве состояний. При наличии полной информации о векторе состояния (полной обратной связи по состоянию) синтезируется закон управления на основе заданного критерия качества или желаемого характеристического уравнения САУ. Если некоторые переменные состояния невозможно измерить, то используются регуляторы с наблюдателем, восстанавливающие переменные состояния объекта.

В структурно оптимизируемых компенсационных регуляторах порядки числителя и знаменателя передаточной функции являются функциями соответствующих порядков модели ОУ.

При проектировании дискретных САУ с компенсационными регуляторами наиболее часто используются апериодические регуляторы.

Пусть дискретная передаточная функция объекта управления с

экстраполятором нулевого порядка имеет вид

$$Gp(z) = \frac{y(z)}{u(z)} = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_m z^{-m}} z^{-d}.$$

Предполагается, что ступенчатое изменение задающей переменной происходит в момент времени $k = 0, 1, 2, \dots$. Если время запаздывания $d = 0$, то требования для минимального конечного времени установления переходного процесса записывается в следующем виде:

$$y(k) = 1 \text{ для } k \geq m.$$

Передаточная функция компенсационного аperiodического регулятора имеет вид:

$$G_R(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + \dots + q_m z^{-m}}{1 - p_1 z^{-1} - \dots - p_m z^{-m}}.$$

Параметры аperiodического регулятора рассчитываются следующим образом

$$q_m = a_m q_0; \quad p_m = b_m q_0; \quad q_0 = \frac{1}{b_1 + b_2 + \dots + b_m} = u(0).$$

В качестве регулятора состояния рассмотрим регулятор с заданным характеристическим уравнением системы управления.

Суть метода расчёта данного регулятора состоит в том, что динамика управляемого объекта, описываемого уравнением состояния

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k),$$

может быть так изменена с помощью обратной связи по вектору переменных состояния

$$u(k) = -Kx(k),$$

что коэффициенты её характеристического уравнения будут равны заданным.

Пусть желаемое характеристическое уравнение замкнутой системы имеет вид:

$$a_c(s) = s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0.$$

Коэффициенты обратных связей регулятора состояния можно найти на основе формулы Аккермана.

Формула Аккермана основана на преобразовании подобия, которая переводит заданную модель произвольной структуры в канони-

ческую форму управляемости, после чего, определяются искомые коэффициенты K . Эти действия выполняются с помощью формулы Аккермана:

$$K = [0 \ 0 \ \dots \ 0 \ 1] [B \ AB \ \dots \ A^{n-2}B \ A^{n-1}B]^{-1} \alpha_c(A),$$

$$\alpha_c(A) = A^n + \alpha_{n-1}A^{n-1} + \dots + \alpha_1A + \alpha_0I.$$

Апериодический регулятор и регулятор состояния с заданным характеристическим уравнением системы управления были промоделированы в системе MATLAB.

В качестве примера был рассмотрен ОУ третьего порядка. Его дискретная модель была получена на основе экстраполятора нулевого порядка. Период квантования равнялся единице. Желаемые полюса САУ – нулевые. Результаты моделирования представлены на рисунке 1.

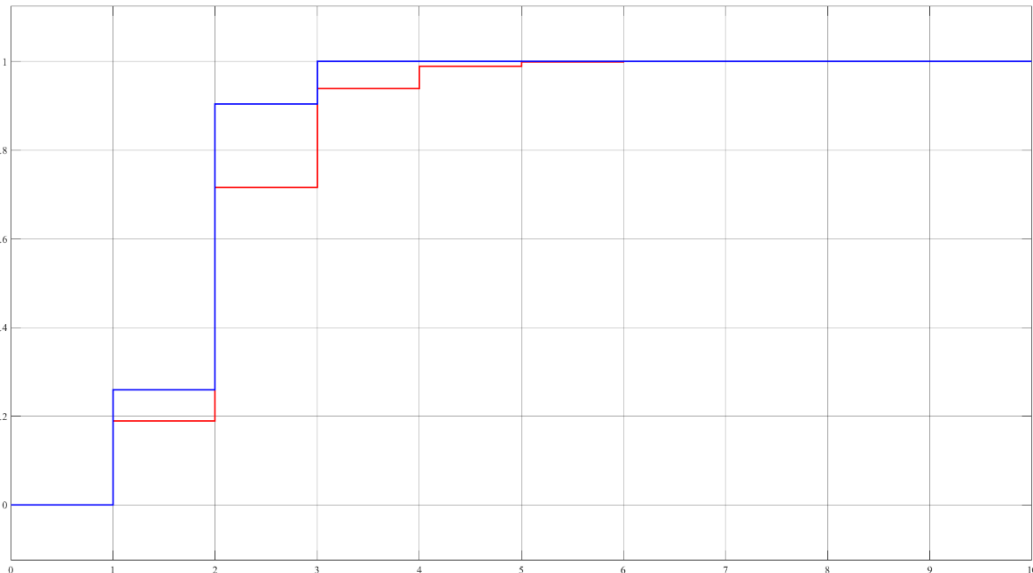


Рисунок 1 – Результаты моделирования аperiодического регулятора (синяя кривая) и регулятор состояния с заданным характеристическим уравнением (красная кривая)

ЛИТЕРАТУРА

1. Изерман Р. Цифровые системы управления. М.: Мир, 1984. 541 с.
2. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 616 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ПАРАМЕТРИЧЕСКИ ОПТИМИЗИРУЕМЫМИ И СТРУКТУРНО ОПТИМИЗИРУЕМЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

Системы автоматического управления (САУ), структура которых (вид и порядок описывающих их уравнений) задана, а свободные параметры подстраиваются под объект управления (ОУ) с использованием критерия оптимизации или определённых правил настройки называются параметрически оптимизируемыми.

К параметрически оптимизируемым регуляторам относятся типовые классические регуляторы, такие как пропорциональный регулятор, пропорционально-интегральный регулятор, пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор и их модификации. Пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы широко распространены в технических системах и используются в 90–95% регулирующих контуров. Они позволяют достичь цели управления для большинства технологических объектов, при этом их структура компактна и проста [1].

Системы автоматического управления называются структурно оптимизируемыми, если и структура и параметры регулятора оптимально подстраиваются под структуру и параметры модели объекта управления [2].

Среди структурно оптимизируемых регуляторов наиболее часто используются апериодические регуляторы (дискретные), регуляторы с заданным характеристическим уравнением системы управления (непрерывные и дискретные) и линейный квадратичный регулятор (непрерывный и дискретный).

Оценим показатели качества САУ с ПИД регулятором, регулятором с заданным характеристическим уравнением системы управления и линейным квадратичным регулятором (ЛКР). Все регуляторы – непрерывные.

Расчёт и моделирование САУ будем проводить в системе MATLAB, моделирование в среде SIMULINK.

В качестве ОУ возьмём передаточную функцию с тремя полюсами и одним нулём.

При расчёте параметров регуляторов состояния перейдём в пространство состояний встроенными в MATLAB средствами.

Для нахождения параметров ПИД регулятора воспользуемся

встроенными в блок PID Controller среды SIMULINK средствами.

Блок поддерживает несколько типов регуляторов и конструкций. Настраиваемые параметры в блоке включают в себя помимо прочего также и выбор метода автоматической настройки параметров регулятора (на основе передаточной функции объекта или его частотной характеристики) – параметр Select tuning method.

На первом этапе находятся параметры ПИД регулятора, а на втором моделируется САУ с единичной отрицательной обратной связью.

Переходная характеристика САУ с ПИД регулятором представлена на рисунке 1.

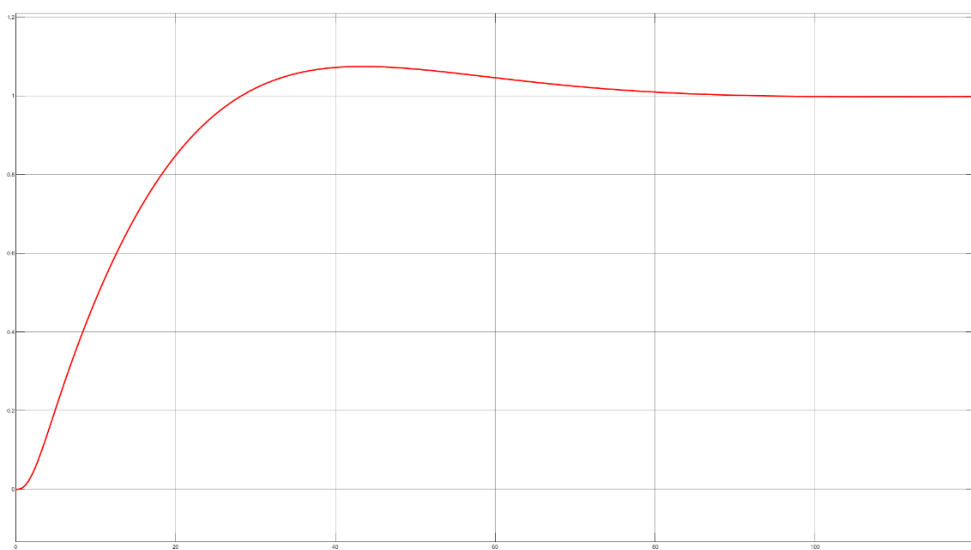


Рисунок 1 – Переходная характеристика САУ с ПИД регулятором

Время регулирования составило порядка 90 секунд, а перерегулирование около 7 процентов.

Для нахождения параметров регулятора с заданным характеристическим уравнением системы управления воспользуемся встроенной в MATLAB функцией, реализующей формулу Аккермана – аскер. Желаемые полюса САУ зададим левее (в два раза) полюсов ОУ, для обеспечения более высокого быстродействия.

Переходная характеристика САУ с регулятором с заданным характеристическим уравнением системы управления представлена на рисунке 2.

Время регулирования составило порядка 65 секунд, а перерегулирование отсутствует.

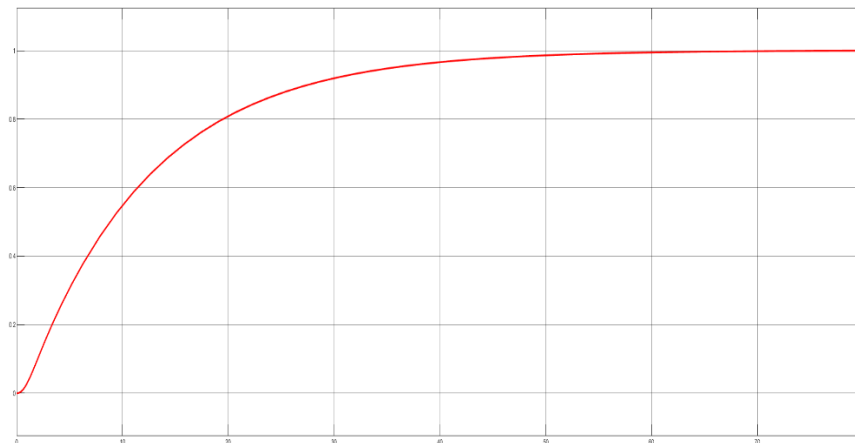


Рисунок 2 – Переходная характеристика САУ с регулятором с заданным характеристическим уравнением системы управления

Для нахождения параметров ЛКР воспользуемся встроенной в MATLAB функцией LQR.

Переходная характеристика САУ с линейным квадратичным регулятором представлена на рисунке 3.

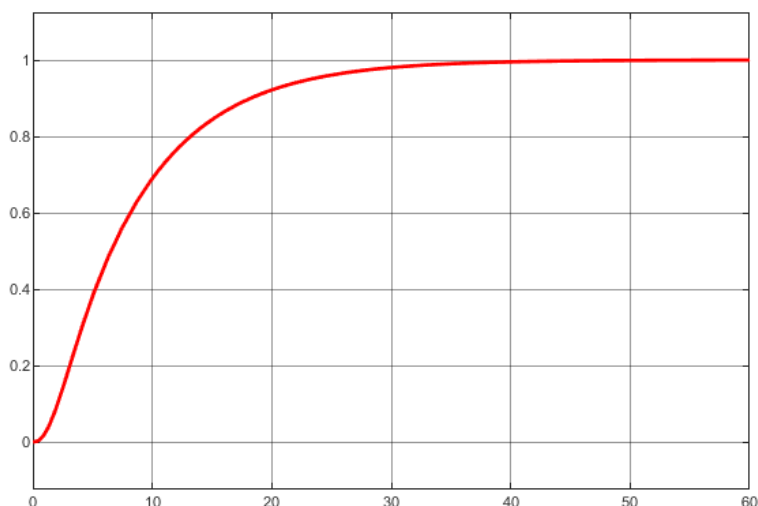


Рисунок 3 – Переходная характеристика САУ с ЛКР

Время регулирования составило порядка 45 секунд, а перерегулирование отсутствует.

Как и следовало ожидать, лучшие показатели качества показал ЛКР, далее следует регулятор с заданным характеристическим уравнением системы управления и ПИД регулятор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: учебник для ВУЗов, 5-е издание. перераб. и доп. М.: Изд. дом МЭИ, 2008.
2. Изерман Р. Цифровые системы управления. М.: Мир, 1984. 541 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОПОЛОГИЙ УПРАВЛЯЮЩИХ СЕТЕЙ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Надёжность управляющих сетей всегда будет являться актуальным вопросом, так как от качества передачи информации зависит работа всей системы в целом. В соответствии с разрабатываемой системой выбирается наиболее подходящая топология сети, которая позволит достичь оптимальной работоспособности системы.

Сетевая топология описывает тип сетевого соединения различных устройств. Существует несколько видов топологий, отличающихся друг от друга по трем основным критериям: режим доступа к сети; средства контроля передачи и восстановления данных; возможность изменения числа узлов сети. Основными сетевыми топологиями являются звезда, кольцо и шина.

В топологии «звезда» вся информация передается через центральный узел. Каждое устройство имеет свою собственную среду соединения. Все периферийные станции могут обмениваться друг с другом только через центральный узел. Преимущество этой структуры в том, что никто другой не может влиять на среду передачи. Однако, центральный узел должен быть исключительно надежным устройством как в смысле логического построения сети (отслеживание конфликтных ситуаций и сбоев), так и физического, поскольку каждое периферийное устройство имеет свой физический канал связи и, следовательно, все они должны обеспечивать одинаковые возможности доступа. Различают топологии одиночной и двойной звезды. Топология не является особо надёжной, так как отказ центрального коммутатора, с которым связаны все устройства, вызывает остановку всей сети.

В топологии «кольцо» информация передается от узла к узлу по физическому кольцу. Приемник копирует данные и регенерирует их вместе со своей квитанцией подтверждения следующему устройству в сети. Когда начальный передатчик получает свою собственную квитанцию, это означает, что его информация была корректно получена адресатом. Надёжность системы классического «кольца» также не является особо высокой, так как выход из строя одного узла останавливает передачу данных во всей сети. Более надёжным является вариант топологии с множественными «кольцами», где одна сеть является основной, а другие – резервными, что позволяет продолжить передачу информации при выходе из строя какого-нибудь узла.

В топологии «шина» все устройства подсоединены к общей среде передачи данных, или шине. В отличие от «кольца» адресат получает свой информационный пакет без посредников. Процесс подключения дополнительных узлов к шине не требует аппаратных доработок со стороны уже работающих узлов сети, как это имеет место в случае топологии «звезда». Однако шинная топология требует жесткой регламентации доступа к среде передачи. Данная структура также носит название «общая шина» и «магистраль». В сравнении с предыдущими топологиями, выход из строя узла не останавливает работу всей сети, как в кольце, а расширяемость сети в разы проще и дешевле.

Для повышения надёжности используется подход резервирования каналов связи. Смысл резервирования состоит в предотвращении каналов и узлов, единичный отказ которых приводит к остановке системы. При отказе узла или канала связи происходит восстановление в установленное, обычно очень короткое, время за счёт задействования одного из резервных маршрутов доставки данных.

Из проведённого анализа можно сделать вывод, что различные топологии имеют свои плюсы и минусы, и не всегда подходящей будет именно самая надёжная из них. Поэтому большая надёжность при использовании более простых топологий систем может быть достигнута за счёт создания резервных каналов связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.cta.ru/cms/f/448403.pdf>– «Этапы создания эффективной системы автоматизации»;
2. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/2665500/>– «Структура промышленных сетей».

УДК 675.92.028.2

Д.С. Карпович, канд. техн. наук, доц. (БГТУ, г. Минск);
С.Г. Тихомиров, д-р техн. наук, проф.;
О.В. Карманова, д-р техн. наук, доц.;
А.А. Маслов, канд. техн. наук; Е.В. Линцова, асп.
(ВГУИТ, г. Воронеж)

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНО- ВРЕМЕННОГО РЕЖИМА ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ

На сегодняшний день важным направлением для снижения себестоимости продукции производства резин заключается в снижении энергоемкости процесса вулканизации. Расчет продолжительности режимов вулканизации основан на надежных методах оценки степени вулканизации многослойных резиновых изделий, например, автомобильных шин. Расчетные методы наиболее эффективные и экономически выгодные, так как учитывают кинетику вулканизации и современные теоретические представления о теплопереносе. Поэтапные действия расчета степени вулканизации многокомпонентных изделий в зависимости от теплофизических характеристик каждого слоя, зависящих от температуры среды, дают возможность подбора оптимального температурно-временного режима технологического процесса.

За последние десятилетия создано большое количество инструментальных методов оценки степени структурирования. Повышаются знания в области прикладных и теоретических описаний процессов структурирования полимерных композиций за счет разработки и внедрения интеллектуальных систем поддержки принятия решений управления технологических процессов [1].

Анализ процесса вулканизации с точки зрения управления показал, что управляющими воздействиями могут быть такие параметры как температура и продолжительность процесса. На рисунке 1 представлена обобщенная схема алгоритма расчёта температурно-временного режима процесса.

Численное моделирование процесса неизотермической вулканизации на примере многокомпонентного изделия, проводится в два этапа: 1- рассчитывается температурное поле определенной геометрической формы модельного образца; 2 - расчёт степени завершенности процесса по всем сечениям объёма изделия. В основе расчетов положены математические модели, описанные в работе [2]. Для проверки работоспособности предложенного алгоритма использовали набор экспериментальных данных реальных составов.



Рисунок 1 – Схема алгоритма расчёта управляющих воздействий

В таблице 1 представлены исходные данные состава полимерной композиции для расчета температурно-временного режима процесса вулканизации согласно предложенному алгоритму. Расчет проводился при температуре 423 К.

Таблица - Исходные данные

№	Начальная концентрация реагента	Обозначение	Размерность	Значение	
1.	Действительный агент вулканизации	C_A	[моль/кг]	0,001904	
2.	Каучук	C_{R0}	[моль/кг]	0,003453	
Параметры расчёта констант скоростей реакций					
3.	Пред экспоненциальные множители и энергии активации по стадиям элементарных реакций	k_{01}	$6,379 \cdot 10^{10}$	E_1	$1,163 \cdot 10^5$
		k_{02}	$1,282 \cdot 10^{11}$	E_2	$1,083 \cdot 10^5$
		k_{03}	$1,941 \cdot 10^{-8}$	E_3	$9,915 \cdot 10^4$
		k_{04}	$1,294 \cdot 10^{11}$	E_4	$1,079 \cdot 10^5$
		k_{05}	$6,411 \cdot 10^{-9}$	E_5	$1,177 \cdot 10^5$
		k_{06}	$2,558 \cdot 10^{-9}$	E_6	$1,081 \cdot 10^5$
		k_{07}	$9,002 \cdot 10^{10}$	E_7	$1,082 \cdot 10^5$
		k_{08}	$3,207 \cdot 10^{11}$	E_8	$1,113 \cdot 10^5$
		k_{09}	$6,383 \cdot 10^{10}$	E_9	$1,059 \cdot 10^5$

Результаты программной реализации алгоритма представлены на рисунке 2. На рисунке 3 изображен график поверхности степени завершенности процесса по сечениям в изделии.

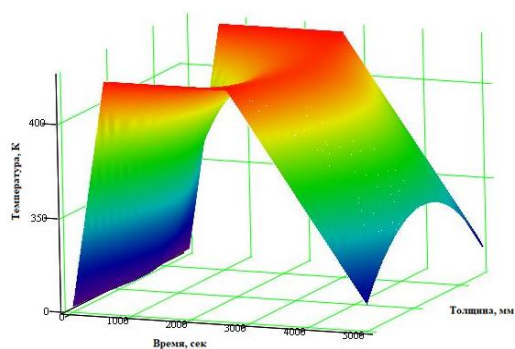


Рисунок 2 – Объемный график изменения температуры

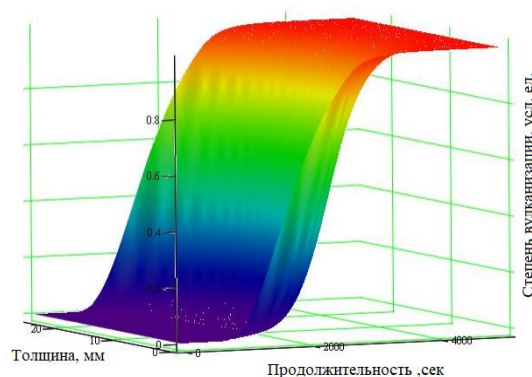


Рисунок 3 – Объемный график изменения степени вулканизации во времени

Предложенный алгоритм позволяет уже на стадии проектирования оценивать технологические возможности и формировать рекомендации по определению оптимальных температурно-временных режимов вулканизации для многокомпонентных изделий сложной конфигурации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихомиров, С.Г. Математическое моделирование процесса вулканизации многокомпонентных изделий при неизотермическом режиме / С.Г. Тихомиров, О.В. Карманова, А.А. Маслов. Сборник статей VIII национальной научно-практической конференции с международным участием «Моделирование энергоинформационных процессов». 2020. С. 338-342.

2. Тихомиров, С.Г. Методика расчета оптимального времени вулканизации резиновых смесей / С.Г. Тихомиров, О.В. Карманова, А.А. Маслов, И.А. Хаустов. Сборник научных трудов XXVIII Международного симпозиума «Проблемы шин, РТИ и эластомерных композитов». ООО Научно-производственный коммерческий центр «ВЕСКОМ» (Москва), 2018. С. 258 – 264.

УДК 681.5

Д.А. Гринюк, канд. техн. наук, доц.; И. Г. Сухорукова, ст. преп.,
С.А. Силаков, студ.; М.А. Сафронов, инж. (БГТУ, г. Минск)

ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

С объявления начала четвертой промышленной революции Industry 4.0 на сферу автоматизации начали обращать еще больше внимания. За предыдущие периоды был накоплен богатый опыт построения систем автоматизированного и автоматического управления. Еще одним важным фактором, который способствует углублению автоматизации в промышленности и повседневной сфере, является развитие микропроцессорных средств управления и силовой электроники. Если 50 лет назад применение наработок теории управления упиралось в малую вычислительную мощность доступных средств управления, их стоимость, сложность в переходе от математики к программному наполнению, то сейчас уже другие проблемы. На первый план выходит проблема недостаточная квалификация персонала для рационального построения системы управления, слабое понимание заказчиком возможностей автоматизации в целях оптимизации ресурсов, обеспечения надежности функционирования, гибкости. Промышленность и общество формируют потребность в ускорении процесса подготовки специалистом, что не снижает системность и глубину знаний по всем направлениям, и автоматизации в том числе. На сегодняшний момент в пору формирования экспертных информационных систем, программного обеспечения для рационального решения задач управления, формирования технического задания на проект, сопровождение процесса проектирования.

Исторически с прошлого века наиболее разработанным техническим решением управлением объектом управления является использование программируемых логических контроллеров (ПЛК, Programmable Logic Controller, PLC). Если на ранней стадии их существования ПЛК решали, в основном, задачи построения дискретных алгоритмов управления, и только иногда, обработка данных и построения замкнутых и разомкнутых систем управления, реализация ПИД-законов, то сейчас вычислительные мощности данных технических средств способны решать задачи оптимизации, построение наблюдателей и других математических наработок из теории управления в реальном режиме времени. И такие технические средства не потребуют серьезных финансовых издержек для приобретения ПЛК. Еще лет 20 назад под ПЛК понималось достаточно четкое техническое устрой-

ство, у которого структура построения и программирование у разных производителей не имело существенных отличий. У крупных производителей были представлены ПЛК разных классов, которые отличались вычислительной мощностью, быстродействием и количеством возможной подключения I/O, периферией, но он был практически идентичен у всех.

На сегодняшний момент данное направление претерпело существенные изменения. При построении ПЛК используют разные аппаратные решения. Сейчас ПЛК, чаще всего, не специально разработанный микропроцессор с набором аппаратных таймеров, счетчиков и т.п., а PC-подобная вычислительная система. Отличие от промышленных компьютеров, в большинстве собой, только сохранение возможностей подключения внешней I/O.

Существенно меняются и способы программирования. Подход, который декларирует МЭК 61131-3 остается, однако широко развиваются новые подходы. Присутствуют предложения по использованию таких языков как C++, C#, Lua, Python для написания алгоритмов управления. MatLab (начиная с версии 2010a) содержит встроенный Toolbox (Simulink PLC Coder), с помощью которого можно преобразовать написанный и отработанный алгоритм в программу прошивки для ряда промышленных ПЛК. Выпускались ПЛК с порфированным MatLab и Simulink.

Базовая концепция МЭК 61131-3 предполагает обеспечение удобства реализации алгоритмов пользователей данных технических средств, которые не имеют прямого отношения к информационным технологиям, но предполагает некоторые знания из теории алгоритмов, релейных цепей, цифровой электроники. Сейчас давление IT-сферы предполагает написание алгоритмов на современном языке высокого уровня. Язык IL из МЭК 61131-3 уходит в историю.

Особенно это показательно по развитию такого направления управляющей техники технологическим процессом как PAC-контроллеры (Programmable Automation Controller). Если изначально это предполагала в устройстве совмещение функций ПЛК и SCADA, то сейчас в «коробке с модулями», которая внешне напоминает ПЛК, можно обнаружить разные виды операционных систем жесткого и мягкого реального времени, что позволяет использовать различные среды для написания алгоритмов.

Все больше наблюдается переход на получение информации с модулей I/O не по внутренней шине, а по сети.

Данный тренд позволяет вместо ПЛК и PAC-контроллера использовать промышленные компьютеры (ППК, IPC) для построения

систем управления. ППК рекомендовано использовать для построения систем управления объектами, которые подразумевают возможность «клонирования» разработанного ПО для ряда однотипных объектов. В этом случае рентабельность может быть после использования высококвалифицированного программиста. Но сейчас ввиду развития модельно-ориентированного проектирования, которое помогает устранить ошибки, связанные с традиционным ручным написанием кода и уменьшает время разработки и валидации, позволяет снизить уровень знаний.

Все это вместе размывает грани между PLC, PAC и IPC усложняет и так не простой выбор. И если не брать в расчет необходимость обязательной сертификации у средства управления для некоторых типов производств, требования по надежности, стоимость, жесткую техническую политику на крупных и средних предприятиях по не допуску возникновения «зоопарков», то выбор в основном определяется предпочтением разработчика, его жизненным опытом.

Стоит еще упомянуть малые ПЛК для небольших несложных задач, которые часто называют программируемые реле. На протяжении последних лет они претерпели минимальные изменения. Но у многих из них появился встроенный web-сервер, поддержка сетевых технологий. Но у этих малые ПЛК появился конкурент в виде использования решений построенных на базе Arduino, ESP, Wemos, ARM, Raspberry Pi и их клонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сравнение PLC, PAC и IPC Электронный ресурс. <https://controlengrussia.com/kontrollery/sravnenie-plc-pac-i-ipc/>

2. D. Hryniuk, I. Suhorukova, N. Oliferovich and I. Orobei, Complex tuning of the PID controller according to integral criteria, *2018 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream)*, Vilnius, 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/eStream.2018.8394117.

3. Гринюк Д.А., Сухорукова И.Г., Оробей И.О. Современные подходы к информатизации систем контроля управления // Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления: Материалы докладов межд. науч.-техн. конф., Минск, 19-21 ноября 2016 г., Мн.: БГТУ, 2016, – С. 198-201.

УДК 681.5.013

Д.А. Гринюк, канд. техн. наук, доц.; Н.М. Олиферович, ассист.;
Д.В. Жук, инж.; А.С. Михновец, студ.; (БГТУ, г. Минск)

СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРА ПО ПОЛНОЙ И УПРОЩЕННОЙ МОДЕЛИ

Несмотря на успехи методов идентификации параметров динамики каналов управления в реальном времени анализ с помощью теоретических моделей с применением дифференциальных уравнений остается актуальным. Особенно это актуально на стадии проектирования, когда комплексно решается задача обеспечения технологических целей и управляемости. Многие современные технологические процессы характеризуются сложной структурой объектов регулирования. Также большой класс объектов управления относится к объектам с распределенными параметрами. После декомпозиции канала управления можно получить передаточные функции высоких порядков. Для таких прикладных пакетов анализа систем управления как Matlab, высоких порядок не является проблемой. Однако работа с высоким порядком повышает требования к точности определения физических параметров для расчета параметров передаточной функции, выборе методов решения дифференциальных уравнений. При организации системы управления по адаптируемой модели повысит требования к вычислительной мощности системы, которая будет рассчитывать.

Существуют различные подходы к понижению порядка. Сравнительно простым способом понижения порядка является удаление несущественных полюсов с коррекцией коэффициента передачи на нулевой частоте. Более корректным является понижение порядка за счет получения коэффициентов передаточной функции, которая аппроксимирует частотные характеристики исходной функции [1]. Процедура требует математических преобразований. Она будет сложной, если потребуется понизить порядок на десяток и более. Потребность в таких преобразованиях появляется для многих технологических процессов [2]. В первую очередь это касается распределенных объектов управления и применение ячеечных моделей для таких технологических процессов как ректификация, абсорбция, экстракция и т.д. Изложенная в [1] методика не позволит корректно понизить порядок, если в исследуемом объекте проявляется апериодическое запаздывание. Представляет возможным для понижения порядка использовать численные методы аппроксимации переходной характеристики. Данная методика обладает большей универсальностью. При получении конечного варианта передаточной функции можно использовать не уже

готовую передаточную функцию, которая была получена путем преобразования исходных уравнений и последующей линеаризацией, а непосредственно решения дифференциальных уравнений относительно времени.

Рассмотрим процесс анализа и настройки канала управления процессом поддержания концентрации кислорода при биологической водоподготовке. Вода проходит через шесть одинаковых мембранных фильтров. При определенных допущениях, каждый из фильтров можно рассмотреть как одноемкостный объект. В итоге канал стабилизации кислорода будет представлять уже 8 порядок с учетом исполнительного механизма и измерительного преобразователя кислорода. В объекте будет наблюдаться апериодическое запаздывание, поэтому попытаемся аппроксимировать объект второго порядка с запаздыванием.

$$W(p) = \prod_{i=1}^6 W_i(p) = \frac{1}{(Tp + 1)^6} \approx \frac{\exp(-\tau p)}{(T_1 + 1)(T_2 + 1)}.$$

Из технологических параметров значение постоянной времени получилось $T = 1,238$. Аппроксимацию проводили путем минимизации квадратичного отклонения (рисунок 1).

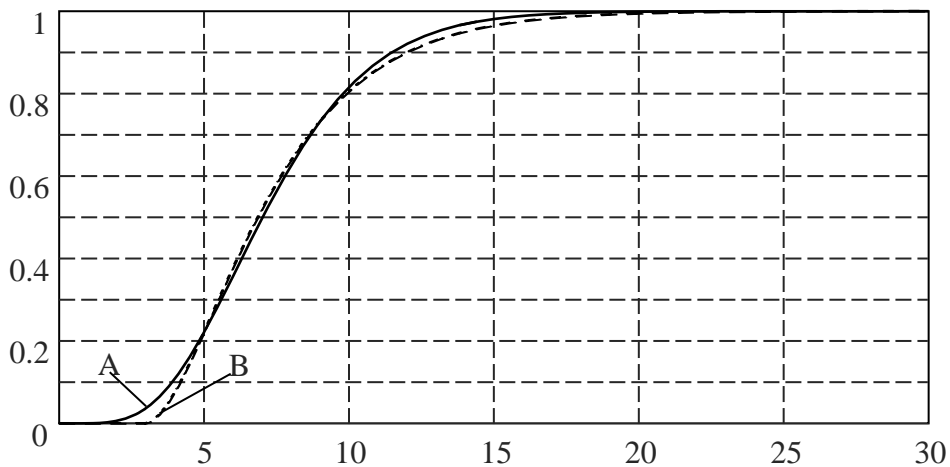


Рисунок 1 – Исходная (А) и аппроксимированная(В) кривые разгона

В результате аппроксимации получена передаточная функция

$$W(p) = \frac{\exp(-2.9490 p)}{(2.4525 p + 1)(2.9490 p + 1)}.$$

По исходной и аппроксимированной передаточной характеристике была проведена настройка ПИД-регулятора. При постоянных времени датчика в обратной связи $T_S = 3,5$ и исполнительного механизма $T_A = 2$ по интегральному критерию [3,4]. Коэффициент усиления регулятора полностью совпал, время интегрирования и дифференцирования отличается на 1%. Показатели качества переходного процесса регулиро-

вания при этом не имеют существенных отличий. Подстановка настроек регулятора от аппроксимации в исходную систему не дает ощутимой разницы (рисунок 2).

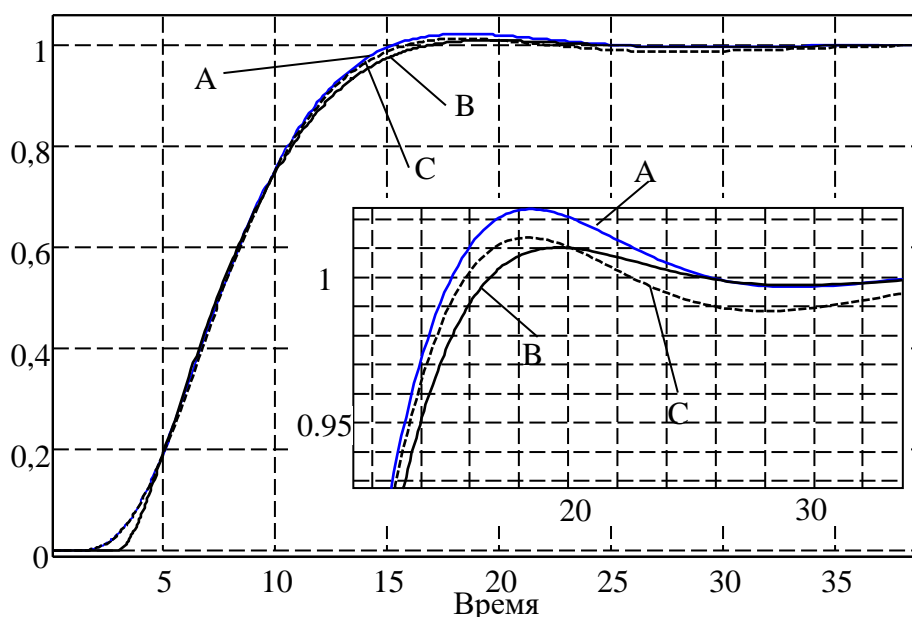


Рисунок 2 – Переходная характеристика замкнутой системы с ПИД-регулятором настроенным по исходной (А), аппроксимированной (В) передаточной функции и при использовании настроек регулятора исходной (С), которые найдены по аппроксимированной

Предложенный метод понижения порядка показал приемлемые для практического применения результаты и может быть рекомендован для анализа сложных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорф Р., Современные системы управления. / Р. Дорф, Бишоп - Москва: Лаборатория базовых знаний, 2012. - 831 с.
2. Чермак, И. Динамика регулируемых систем в теплоэнергетике и химии / И. Чермак, В. Петерка, И. Заворка. - М.: Мир, 1972.- 623 с.
3. Hryniuk D., Suhorukova I., Orobei I. Non-linear PID controller and methods of its setting // 2017 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream), Vilnius, 2017, pp. 1-4.
4. Гринюк, Д.А. Метод настройки ПИД-регулятора через deadbeat-регулятор на различные интегральные критерии / Д.А. Гринюк и др.// Труды БГТУ. Сер. 3, Физ.-мат. науки и информ. - Минск : БГТУ, 2019. - № 2 (224). - С. 66-73.

УДК 532.5

Д.А. Гринюк, канд. техн. наук, доц.; Н.М. Олиферович, ассист.;
В.И. Бакаленко, канд. техн. наук, доц.; Ф.Л. Бойко, инж.
(БГТУ, г. Минск)

ПОСТРОЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТРАКТА

При работе центробежных насосов на низкой частоте оборотов очень часто возникают пульсации. В случае, если требуется сгладить пульсации (как например в установках поверки расходомеров), для их подавления применяют активные и пассивные схемы. Наибольшее применение нашли пассивные схемы, которые сводятся к применению на гидравлическом тракте емкости с воздухом. Данная емкость выполняет функцию демпфера. Частотные характеристики этого демпфера зависят от количества воздуха и в процессе работы давление меняется в зависимости от частоты пульсаций.

Для каждой конкретной установки присутствует своя зависимость коэффициента подавления колебаний от давления воздуха. Для ее определения необходимо проводить или ряд физических экспериментов или математические расчеты. Несмотря на сложность гидродинамических процессов, они часто обладают лучшей повторяемостью и совпадением практики и теории.

Для удобства рассмотрения проведем декомпозицию системы (рисунок 1).

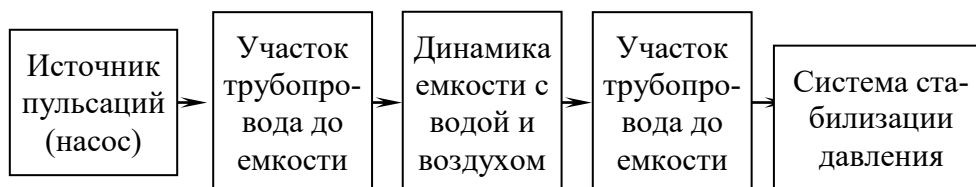


Рисунок 1 – Декомпозиция системы

Динамика емкости можно оценить по уравнению (рис. 2)

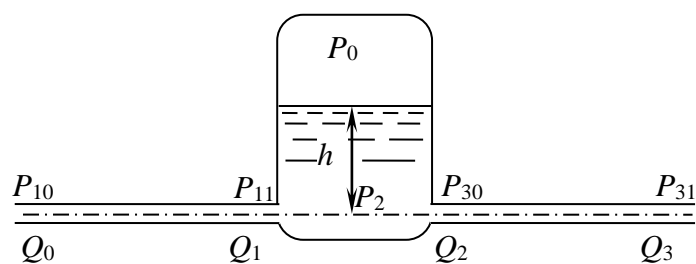
$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{S}(Q_1 - Q_2), \quad (1)$$

где h – текущее значение уровня; S – площадь сечения емкости; Q_1 – расход на входе в емкость; Q_2 – расход на выходе из емкости.

Для учета влияния входного и выходного гидравлического сопротивления добавим уравнения расхода через них.

$$Q_1 = k_1 \sqrt{P_{11} - P_2}; \quad Q_2 = k_2 \sqrt{P_2 - P_{30}}, \quad (2)$$

где k_1 – коэффициент учета гидравлического сопротивления входа и выхода соответственно.



P_{10} – давление на входе; P_{11} – давление перед входом в емкость;
 P_2 – суммарное давление на линии входного и выходного патрубков;
 P_{10} – давление в трубопроводе после выхода из емкости;
 P_{30} – давление перед входом в емкость

Рисунок 2 – Параметры системы

Необходимо связать давление P_2 с гидростатическим напором, что можно сделать с помощью уравнения

$$P_2 = P_0 + h \cdot \gamma, \quad (3)$$

где γ – удельный вес жидкости.

Для связи P_0 с изменением уровня примем допущение, что газ в емкости подчиняется законам идеального газа, тогда

$$P_0 V_G = M R T_G, \quad (4)$$

где V_G – объем газа; T_G – температура газа; M – количество моль в объеме; R – газовая постоянная.

Объем газа связан с уровнем

$$V_G = V_0 - S h. \quad (5)$$

Для учета динамики жидкости можно воспользоваться разными подходами. Простейшим является рассмотрение участков трубопроводов как два апериодических звена с постоянной времени

$$T = \frac{L Q_0 \rho}{g S_T \Delta P}, \quad (6)$$

где L – длина трубы; Q_0 – средний расход; ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения; S_T – площадь трубопровода; ΔP – средний перепад давления на участке. Если использовать формулу Хазена-Вильямса, то можно учесть нелинейные свойства динамики

$$\frac{L \rho}{S_T} \frac{dQ}{dt} + k_2 L \frac{Q|Q|^{0,85}}{D^{4,87}} = (P_{10} - P_{11}), \quad (7)$$

где D – диаметр трубопровода; k_1 – коэффициент трения.

Еще более точным является учет влияния противодействия на участке трубопровода. Это предполагает, например, следующую структурную схему (рисунок 3).

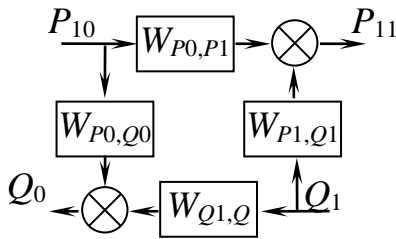


Рисунок 3 – Модель участка трубы

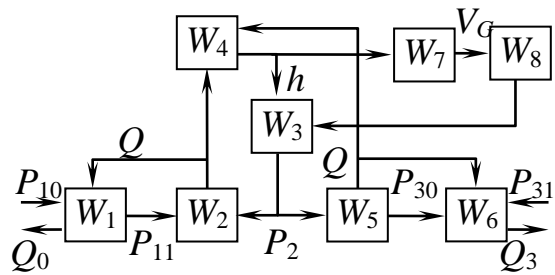


Рисунок 4 – Полная модель объекта

Расчет параметров передаточных функций

$$W_{Q1,Q0} = \frac{1}{T_Q s + 1}; W_{P0,Q0} = \frac{T_1 s}{T_Q s + 1}; \quad (8)$$

$$W_{P1,P0} = \frac{k_3}{T_P s + 1}; W_{P1,Q1} = k_4 \frac{T_2 s + 1}{T_Q s + 1}, \quad (9)$$

где s – оператор передаточной функции в преобразовании Лапласа.

Расчет параметров производится в зависимости от требуемой точности, соотношения количества жидкости в трубопроводах и емкости. Расчетные формулы можно найти в [2]. Полная система моделирования может быть представлена структурой на рисунке 4, где параметры W_1 и W_6 предполагается рассчитываются на основании (8)-(9); W_2 и W_5 с использованием формул (2); W_3 – алгебраическое уравнение (3); W_4 – линейное дифференциальное уравнение (1); W_7 и W_8 – алгебраические уравнения (5) и (4), соответственно.

Несмотря на сложность и использование нелинейностей [1], системы на рисунке 4 была промоделирована в Simulink пакета Matlab.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухорукова, И.Г. Применение в ПИД-законе регулирования нелинейных функций преобразования ошибки / И.Г. Сухорукова, Д.А. Гринюк, И.О. Оробей // Труды БГТУ. - Минск : БГТУ, 2013. - № 6 (162). - С. 95-98.

2. Чермак, И. Динамика регулируемых систем в теплоэнергетике и химии / И. Чермак, В. Петерка, И. Заворка. - М.: Мир, 1972. - 623 с.

3. Фрэнкс, Р. Математическое моделирование в химической технологии / Р. Фрэнкс ; пер. с англ. - М. : Химия, 1971. – 272 с.

Д.А. Гринюк, канд. техн. наук, доц.;
И.Г. Сухорукова, ст. преп.; И.С. Шетько, студ.;
А.Н. Крюков, инж. (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВОЗДУШНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Теплообменные аппараты применяют в различных технологиях в промышленности и в быту. Несмотря на древнюю историю, конструкции теплообменников продолжают изменяться. Решение задач управления теплообменниками сопряжено с решением вопросов идентификации динамики каналов управления. На сегодняшний день, получение уравнений динамики теплообменных процессов на основании теоретических уравнений все также сопряжено с большими проблемами. Это обусловлено наличием нелинейных явлений, распределенностью температуры, большинство теплообменников имеют сложные температурные поля.

В процессе построения системы управления встает вопрос об идентификации динамики каналов управления. Обработке экспериментальных данных нашли применение различные методы. Одни методы позволяют формировать сам вид передаточной функции на основе анализа данных (например метод Симою М.П.), другие предполагают поиск коэффициентов модели по заранее заданному виду.

Второй подход обладает большей устойчивостью, особенно если объект характеризуется существенными нелинейными свойствами. Вид передаточной функции можно определить визуально, или он может следовать из теоретического анализа канала управления. Теоретический подход позволяет уменьшить влияние человеческого фактора в процессе идентификации.

В качестве объекта исследования выбран воздушный теплообменник лабораторного стенда. Нагрев осуществляется электрическими нагревателями, которые находятся в воздуховоде. Воздуховод представляет собой металлическую конструкцию из 1 мм жести. На выходе воздуховода установлены два датчика температуры. Один (А) является промышленным термометром сопротивления с длиной погружной монтажной части 1 м, которая установлена в центре воздуховода по движению воздушного потока. Второй датчик температуры (В) и влажности с пластмассовым корпусом, монтажная часть которого установлена перпендикулярно воздушному потоку с чувствительным также по центру, смонтирован так, чтобы чувствительные элементы обоих первичных преобразователей находились в непосредственной близости друг от друга. Управляющим воздействием выступает

изменение расхода воздуха посредством частотного привода двигателя воздуходувки.

В литературе можно встретить различные варианты передаточных функций для теплообменников. Обычно это различные варианты одна- или двухемкостных объектов. При прикладном анализе экспериментальных данных практически всегда выявляется запаздывание [1-3]. С учетом выше сказанного можно выделить следующие варианты передаточных функций кривых разгона тепловых объектов

$$W_1(s) = \frac{k}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}; W_2(s) = \frac{k(bs + 1)}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)};$$

$$W_3(s) = \frac{k \exp(-\tau s)}{(Ts + 1)}; W_4(s) = \frac{k \exp(-\tau s)}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)};$$

$$W_5(s) = \frac{k(1 - b \exp(-\tau s))}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}; W_6(s) = \frac{k}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)^n}.$$

Увеличения количество подстраиваемых коэффициентов позволяет, потенциально, улучшить качество аппроксимации (рисунки 1-2), однако это увеличивает временные затраты на процесс идентификации. Кроме этого, не всегда положительно сказывается на процессе последующего использования полученного решения для построения замкнутой и разомкнутой системы управления.

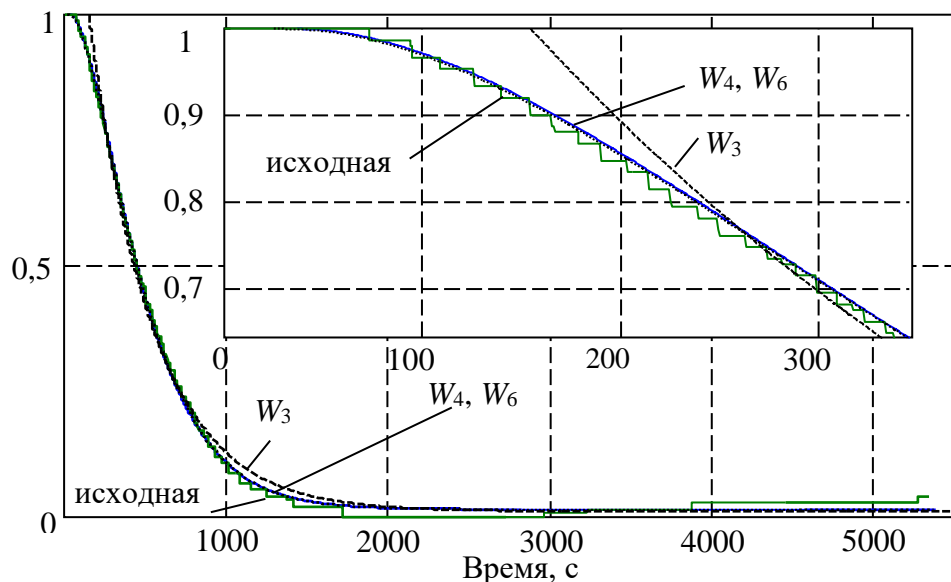


Рисунок 1 – Разгонная характеристика и результат ее аппроксимации при измерении с помощью (В)

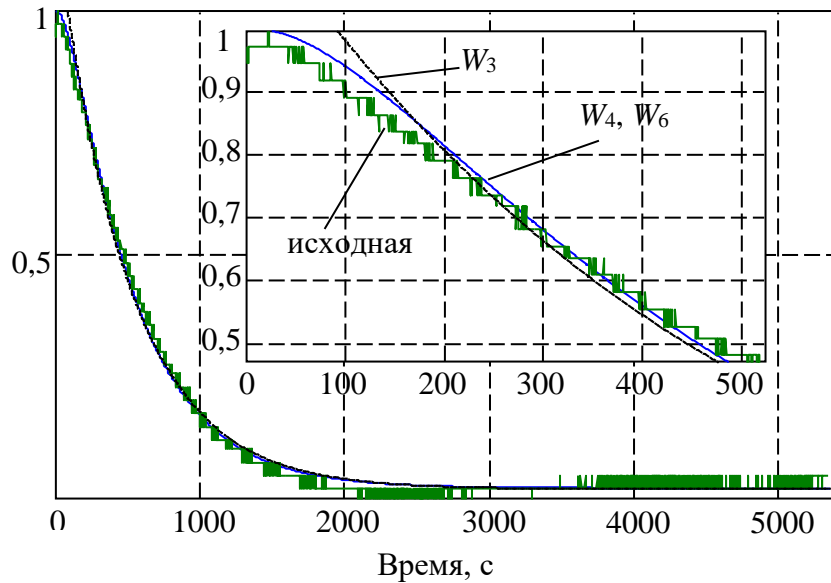


Рисунок 2 – Разгонная характеристика и результат ее аппроксимации при измерении с помощью (А)

Значение интегральных показателей 0,7308; 0,7268; 1,7128 соответственно для W_4 ; W_6 ; W_3 при измерении с помощью (В) и 1,7554; 1,8480; 1,8478 при измерении с помощью (А).

Для данного объекта лучшим оказались результаты для передаточной функции W_4 . Повышение показателя n до 2 и более в формуле W_6 незначительно уменьшает значение интегральных показателей, хотя подобный объект управления в [1] приводил к противоположным выводам. Большие отличия в энергоемкости первичных преобразователей существенно не повлияли на выбор оптимальной модели канала управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гринюк Д.А., Сухорукова И.Г., Олиферович Н.М., Стаблецкий В.А. Оценка динамики изменения температуры по длине металлического стержня // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и ...: XIII Межд. науч.-тех. конф. – Вологда: ВоГУ, 2018. – С. 85-88.
2. Д.А. Гринюк, Н.М. Олиферович, И.О. Оробей. Алгоритмы гармонической идентификации для технологических объектов и их апробация на тепловом объекте // Труды БГТУ. Сер. 3, Физ.-мат. науки и информ. - Минск : БГТУ, 2017. - № 2 (200). - С. 76-81.
3. Oliferovich N., Hryniuk D., Orobei I. Harmonic identification of technological objects in real time// 2016 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream 2016), Vilnius, Lithuania, 21 April 2015 pp. 1-4.

Д.А. Гринюк, канд. техн. наук, доц.;
 Н.М. Олиферович, ассист.; М.Д. Карпович, инж.;
 П.О. Карпюк, студ. (БГТУ, г. Минск)

ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ КВАНТОВАНИЯ КАСКАДНОЙ СИСТЕМЫ С КОМПЕНСАТОРОМ

Современные системы управления массово строятся на базе программируемых логических контроллеров в цифровом виде. Алгоритмы аналоговой обработки, к которой относится ПИД, реализуются путем преобразования аналоговой формы к дискретной [1]. Наибольшее распространение получили две формы цифрового регулятора

$$y_1(z) = kp + T_I T_s \frac{1}{z-1} + T_d \frac{1}{T_s} \frac{z-1}{z} \quad \text{или} \quad y(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}}; \quad (1)$$

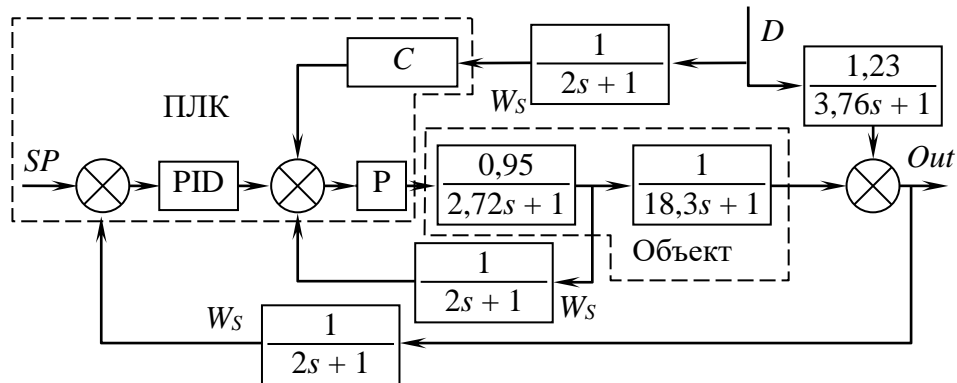
$$y_2(z) = kp + T_I T_s \frac{1}{z-1} + T_d \frac{1}{T_s} \frac{N}{1 + N T_s \frac{1}{z-1}}, \quad (2)$$

где kp , T_I , T_d – классические параметры настройки ПИД-регулятора; T_s – sample time; N – коэффициент аппроксимации дифференцирования. Sample time, как и kp , T_I , T_d , оказывает влияние на эффективность обработки данных. Современные программируемые логические контроллеры (ПЛК) имеют возможность настройки данного параметра. Особенно это касается средних и больших ПЛК. Проведение такой оптимизации особенно актуально при использовании электрических исполнительных механизмов. В этом случае увеличение sample time позволяет улучшить энергетические показатели работы. При использовании нагревателей, мощность для которых регулируется путем широтно-импульсной модуляции силовых ключей, оптимизация sample time может повлиять на энергетические показатели.

В случае простых локальных контуров регулирования в литературе можно найти расчетные формулы оптимального диапазона T_s , тогда как при более сложных структурах, особенно с нелинейностями, определение T_s более сложная задача. С целью оптимального выбора проведем оптимизацию sample time путем проверки эффективности работы синтезированной каскадной АСР при различном значении sample time. Рассмотренная структура представлена на рис. 1. Численные параметры на схеме указаны в минутах. Параметры PID и С найдены по интегральному критерию [2-3]

$$I_1 = \int_0^{td} |e(t)| t^2 dt \quad (3)$$

где t_d – время наблюдения; $e(t)$ – сигнал ошибки.



C – компенсатор; W_s – датчик; D – сигнал возмущения;
 SP – сигнал задания; PID – ПИД-регулятор основного параметра;
 P – П-регулятора вспомогательного параметра; Out – выход

Рисунок 1 – Структурная схема управления

Возможность вариации sample time с одной стороны ограничены быстродействием ПЛК, с другой – устойчивостью системы. Критичным значением для системы на рис. 1 является $T_s = [0,005 \dots 1,2]$ сек.

В процессе исследования оценивали такие параметры как перерегулирование, время переходного процесса по уровню 5%, интегральный критерий и среднеквадратичное отклонение (СКО). Нормированные результаты можно видеть на рис.1–5.

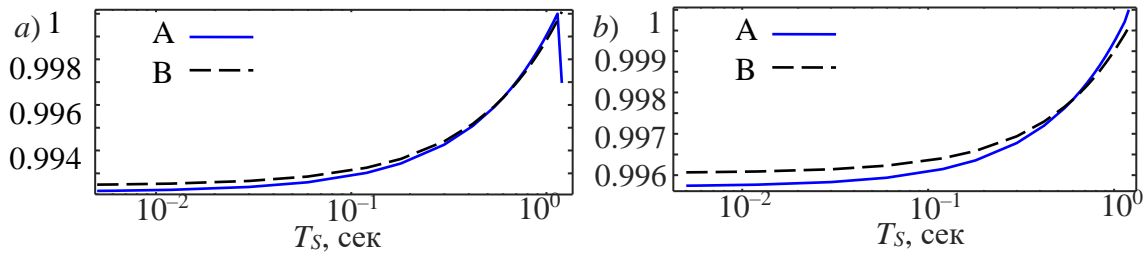


Рисунок 2 – Зависимость время регулирования (a) и интегрального критерия I_2 (b) от sample time при использовании ПИД как (1) – А; как (2) – В при изменении SP

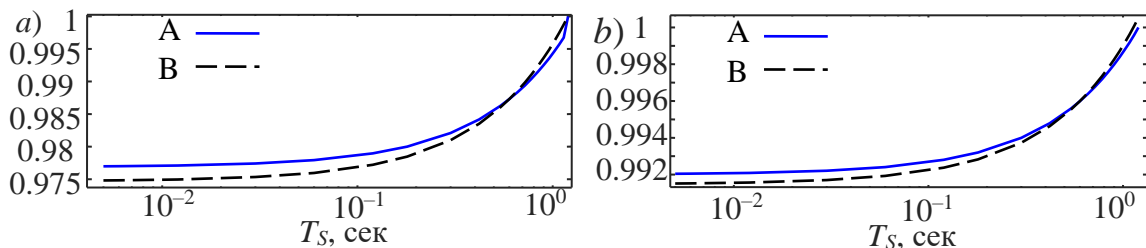


Рисунок 3 – Зависимость перерегулирования (a) и СКО (b) от sample time при использовании ПИД как (1) – А; как (2) – В при изменении SP

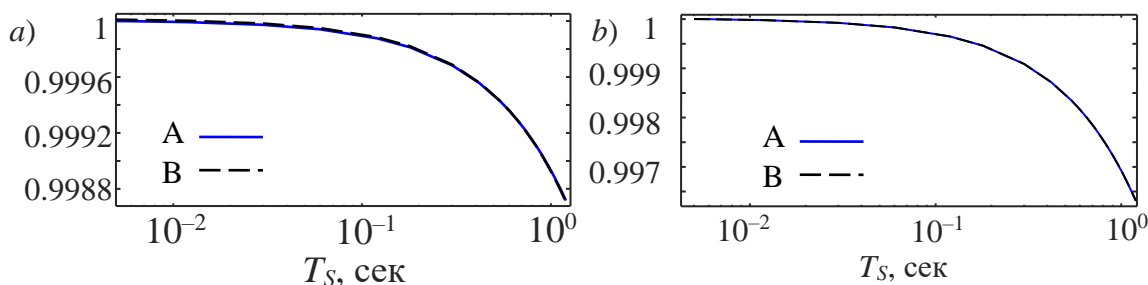


Рисунок 4 – Зависимость время регулирования (a) и интегрального критерия I_2 (b) от sample time при использовании ПИД как (1) – А; как (2) – В при изменении D

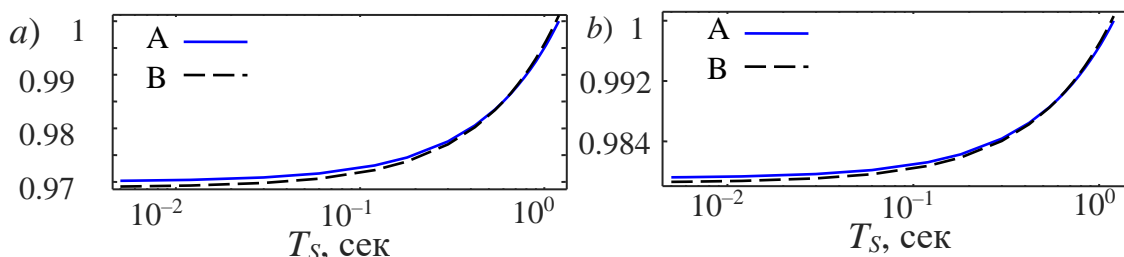


Рисунок 5 – Зависимость перерегулирования (a) и СКО (b) от sample time при использовании ПИД как (1) – А; как (2) – В при изменении D

Время T_S больше всего влияет на значение перерегулирования. При этом для данной системы, выбор цифровой формы ПИД-регулятора оказывает больше влияние. Sample time по-разному влияет на время регулирования и критерий I_2 при изменении возмущения и сигнала задания. Из этого следует, что использование sample time в 100 мс для данной системы является оптимальным. Одна следует заметить, что T_S может по-разному влиять на регулирование [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Oliferovich N., Hryniuk D., Orobei I., Suhorukova I. Increasing the robustness of the digital controller// 2018 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream) 1-6
2. Гринюк Д.А., Сухорукова И.Г., Олиферович Н. М., Оробей И. О. Использование нелинейных регуляторов в каскадных системах регулирования при одновременной настройке четырех параметров // Труды БГТУ. Сер. 3, Физ.-мат. науки и информ. - Минск : БГТУ, 2020. - № 2 (236). - С. 61-68.
3. Hryniuk D., Suhorukova I., Oliferovich N., Orobei I. Complex tuning of the PID controller according to integral criteria // 2018 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences. P. 1-4.
4. Гринюк Д.А., Оробей И. О., Сухорукова И.Г., Оптимизация каскадной системы регулирования для распределенный объектов на основе интегральных критериев // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. - 2007. - Вып. XV. - С.97-100.

ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА НА ИДЕНТИФИКАЦИЮ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

При проектировании регуляторов для промышленных устройств необходимо учитывать характеристики приводов. Среди исполнительных механизмов наибольшими нелинейными свойствами обладают исполнительные механизмы (ИМ) перемещения регулирующего органа с помощью электродвигателя. Чаще всего схема управления такими механизмами представляет собой силовую схему включения двигателя в прямую и обратную сторону.

Динамические характеристики таких элементов автоматики достаточно сложны. Помимо того, что включение двигателя приводит к равномерному перемещению штока регулирующего органа, может существенно проявляться процесс набора двигателем номинальной частоты, а также нелинейные свойства, механики и редуктора, через которые связывают двигатель и регулирующий орган. Помимо этого, следует учитывать, что схема формирования времени вращения двигателя в прямом и обратном направлении должна содержать трехпозиционный нелинейный элемент для обеспечения устойчивости и надежности работы (рисунок 1), где σ – сигнал управления; z – сигнал в схему управления двигателем; μ – сигнал управления штоком; Δ , B – параметры настройки нелинейности.

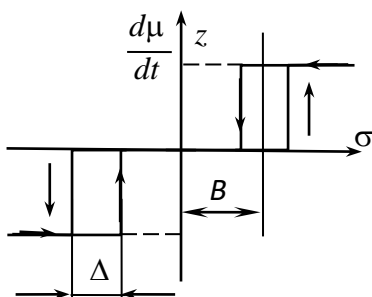


Рисунок 1 – Трехпозиционный нелинейный элемент управления механизмом постоянной скорости

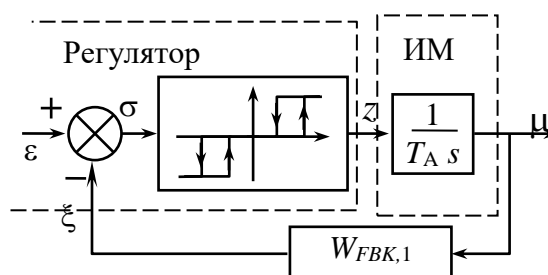


Рисунок 2 – Схема управления МПС с датчиком положения

Так как регулирующий орган перемещается практически с неизменной скоростью в большинстве случаев, то их часто называют механизмом постоянной скорости МПС, иногда – актуаторами. Можно встретить разные схемы управления МПС, но в последнее время производители используют схему с датчиком положения, структурная схема которой представлена на рисунке 2. На схеме динамика ИМ представлена без учета прерываний включения и выключения двигателя и нелинейных особенностей механической части. По экономическим соображениям находит применение и схема управления без датчика положения. На структурной схеме представлен вариант, что нелинейный элемент формируется в управляющей системе, однако сейчас можно встретить вариант, когда вся структура рисунка 2 формируется микропроцессорной системой исполнительного механизма.

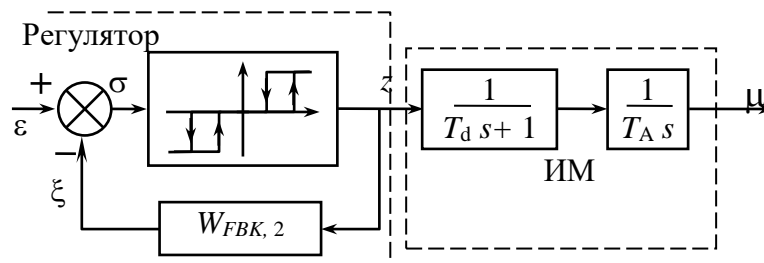


Рисунок 3 – Схема управления МПС с датчиком положения

При построении системы управления с ИМ данного типа приходится решать две задачи: 1) как обеспечить качество управления при наличии у актуаторов нелинейных свойств; 2) сформировать регулятор в устройстве управления, который по итогу обеспечит работу систем замкнутого или разомкнутого управления как можно ближе к идеальной. Вторая задача решается проще всего для структуры на рисунке 2. В этом случае использование классических форм ПИД-регуляторов успешно решает задачи построения эффективной системы управления. Передаточная функция $W_{FBK,1}$ с учетом современных датчиков положения может представлять просто единичным коэффициентом положения. Намного сложнее, обеспечение близкой к идеальной ПИД-регулятору, характеристики для структурной схемы на рис. 3. В описаниях оборудования и литературы можно встретить различные варианты $W_{FBK,2}$: специально сформированная передаточная функция в виде фильтра высокой частоты; интегратор и т.д., что следует учитывать при построении структур управления данного типа. Следует добавить, что структуру на рис. 3 можно встретить в системах мехатроники, где можно встретить множество решений, которые строятся на своих решениях без применения универсальных регуляторов.

В рамках решения первой задачи была проведен анализ влияния нелинейных свойств ИМ на процесс идентификации свойств объектов управления. Рассматривал задача вопросов идентификации в рамках разомкнутой системы управления в первую очередь для структуры на рисунке 2. Однако переходная характеристика будет практически идентична и проблема одинаково актуальна. В качестве объекта управления взята структура второго порядка (рисунок 4), в рамках которой варьировались параметры T_1 и T_2 от 1 до 480 сек.

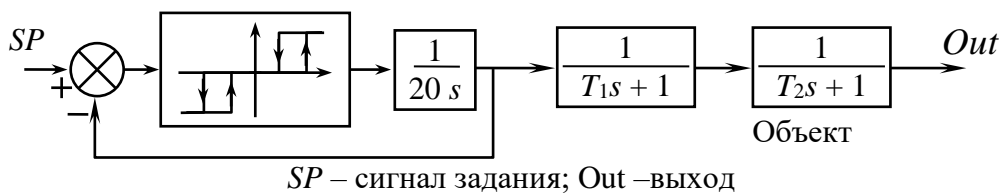


Рисунок 4 – Структурная схема идентификации.

Поскольку структура нелинейная, то идентификация проводилась также при различных значения SP и фиксированных значения трехпозиционного элемента ($\Delta = 0,005$; $B = 0,0175$).

Переходная характеристика аппроксимировалась передаточной характеристикой при различных значениях n

$$W(s) = \frac{k}{(T_{10}s + 1)(T_{20}s + 1)^n}$$

Отличия между значениями исходных значений $[T_1 \ T_2]$ и $[T_1 \text{ и } T_{20}]$ могли достигать в несколько раз и очень зависят от сигнала SP . Оптимальное значение n тоже зависело от сигнала задания и соотношения динамики исполнительного механизма и динамики объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Олиферович Н.М., Гринюк Д.А., Оробей И.О. Гармоническая идентификация технологических объектов в реальном времени. // Труды БГТУ. 2016. № 6: Физ.-мат. науки и информатика. Вып. XIX – С. 117–121.

2. Oliferovich N., Hryniuk D., Orobei I. Harmonic identification of technological objects in real time// 2016 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream 2016), Vilnius, Lithuania, 21 April 2015 pp. 1–4.

3. Гринюк Д.А., Олиферович Н.М, Сухорукова И.Г., Оробей И.О. Моделирование и настройка систем с нелинейной динамикой // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. 2021. № 2 (248). С. 65–71.

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ И СТРОЯЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

К электроснабжению предприятий строительной индустрии предъявляются следующие основные требования: обеспечение подачи необходимого для предприятия количества электроэнергии и надёжности электроснабжения; обеспечение подачи электроэнергии требуемого качества; обеспечение электробезопасности и экономичности электроснабжения.

Особенность электроснабжения строящихся объектов заключается, в первую очередь в том, что значительная часть электрических сетей (воздушных и кабельных) носит временный характер и обычно выполняется без тщательных расчётов. Поэтому во многих случаях качество электроэнергии на строительных площадках не соответствует требованиям обеспечения высокой эффективности технологических процессов строительного производства и паспортной производительности установок, что и обуславливает значительные потери электроэнергии.

Основными приёмниками электроэнергии в строительстве являются асинхронные двигатели. Так как на строительных площадках эксплуатируются двигатели, мощность которых соизмерима с мощностью питающих трансформаторов, а также и из-за удаленности двигателей от главных производственных подстанций напряжение у токоприёмников строительных площадок может понижаться до 15%, что недопустимо. Поэтому для вторичной стороны трансформаторных подстанций на строительных площадках при холостом ходе должно быть принято отклонение напряжения +10% от номинального. В соответствии с вышесказанным, для стабилизации и регулирования напряжения у приёмников серийно выпускается ряд трансформаторов, у которых возможно регулирования напряжения на вторичных обмотках.

Необходимый уровень напряжения у приёмников электроэнергии обеспечивается при определении параметров линий питания. Поэтому чрезвычайно важным является их расчёт и выбор. Расчёт электрических сетей производят по нагреву, по потере напряжения, по условиям пуска мощных асинхронных двигателей.

Расчёт электрических сетей по нагреву производят, исходя из того, что значения длительно допустимых токов нагрузки $I_{\text{нагр}}$ для стандартных сечений проводов, кабелей и воздушных линий должны быть такие, при которых сохраняются качества изоляции и механиче-

ская прочность проводов. При этом необходимо учитывать влияние температуры окружающей среды. Поэтому по расчётному току нагрузки $I_{\text{нагр.}}$ выбирают сечение провода, для которого $I_{\text{доп.}} \geq I_{\text{нагр.}}$, где $I_{\text{доп.}}$ – значения длительно допустимого тока нагрузки.

Потеря напряжения равна разности модулей напряжения в начале и в конце линии, т. е. $\Delta U = U_1 - U_2$. Потеря напряжения в линии показывает, на сколько вольт напряжение в конце линии меньше, чем напряжение в начале линии. Величина падения напряжения определяется по формуле:

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_n} 100 = \frac{I(R + X_L)}{U_n} 100 = \frac{2Il(r_0 + x_0)}{U_n} 100 = \frac{200l \cos \varphi_2}{U_n} (r_0 + x_0).$$

Определение потери напряжения при пуске мощных асинхронных двигателей требует решения сложной системы нелинейных уравнений. Однако опыт проектирования показывает, что простоты расчётов электрической сети при достаточной для практики степени точности результатов можно достигнуть, приняв потерю напряжения от работающих двигателей в момент пуска мощного двигателя той же, что и перед пуском, т.е. постоянной.

В этом случае потеря напряжения в линии при пуске двигателя определяется по формуле:

$$\Delta U = U_0 - U_n,$$

где ΔU – потеря напряжения в линии; U_0 – напряжение в начале линии на вторичной обмотке трансформатора; U_n – напряжение на зажимах двигателя.

Эта формула получила широкое применение для расчёта и проверки параметров электрических сетей по условиям пуска.

При наличии на строительных площадках значительных отклонений питающего напряжения возрастает роль регулирования напряжения в сетях как одного из эффективных средств улучшения качества электроэнергии. Регулирование напряжения может осуществляться с помощью не только средств, непосредственно воздействующих на значение напряжения, но и устройств компенсации реактивной мощности.

Электроприёмники на строительных площадках создают огромные реактивные токи, которые в течение суток претерпевают значительные колебания. Эти токи создают дополнительные потери напряжения. Поэтому возможности и эффективность компенсации реактивных нагрузок в сетях довольно велики.

Регулирование напряжения в сети может осуществляться либо путём оснащения питающего трансформатора средствами регулирования, обеспечивающими требуемые изменения коэффициента транс-

формации, либо с помощью специальных устройств, присоединяемых к электрической сети.

При выборе первого способа регулирования отпадает необходимость в применении дополнительной аппаратуры, однако устройство должно быть рассчитано на полную мощность всех потребителей. Преимущество второго способа регулирования – возможность удовлетворения требований отдельных потребителей по качеству электроэнергии. Недостаток – потребность в дополнительном оборудовании, усложняющем монтаж и повышающем трудоёмкость обслуживания.

По характеру использования можно выделить три группы регулирующих устройств: централизованного регулирования; группового регулирования; индивидуального регулирования.

Выпускаемые отечественной промышленностью силовые трансформаторы можно подразделить на три группы: трансформаторы, снабжённые устройствами регулирования напряжения под нагрузкой (РПН)%; трансформаторы, допускающие разовые изменения коэффициента трансформации путем переключения дополнительных ответвлений; трансформаторы, не имеющие ответвлений.

Наибольшее распространение в силовых электрических сетях общего назначения получили трансформаторы с РПН. Их производство достигло около 70% от общего выпуска по мощности.

Реактивная нагрузка предприятий строительной индустрии, как правило, является индуктивной (трансформаторы, электродвигатели, кабели и т. д.). Индуктивная энергия то потребляется генератором, то возвращается в сеть. Суммарное значение энергии, потребляемое от источника электроэнергии, равно нулю. Уменьшение коэффициента мощности влечёт за собой снижение к.п.д. трансформаторов, электродвигателей и ряда других электропотребителей. С уменьшением нагрузки двигателей резко падает их коэффициент мощности. Кроме того, индуктивные токи вызывают дополнительные потери напряжения, снижая напряжение, подводимое к приёмникам; обуславливают активные потери (на нагрев) в электропроводящих сетях.

Различают два вида коэффициента мощности: естественный, измеряемый без компенсирующих устройств, и общий, определяемый с учётом действия компенсирующих устройств.

К естественным методам повышения коэффициента мощности относятся: замена асинхронных двигателей на синхронные, правильный выбор двигателей по мощности и др. К искусственным методам компенсации индуктивной мощности можно отнести использование конденсаторов, а также синхронных двигателей, которые в режиме перевозбуждения представляют собой ёмкостную нагрузку.

УДК 632.6/.7:631.544(476.4)

Е.В. Стрелкова канд. с.-х. наук, доц. (БГАТУ, г. Минск)
elena.strelcova2011@mail.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ТЕМПЕРАТУРНОМУ РЕЖИМУ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОГУРЦА В ЗИМНЕ-ВЕСЕННЕМ ОБОРОТЕ УП «МИНСКИЙ ПАРНИКОВО-ТЕПЛИЧНЫЙ КОМБИНАТ»

Аннотация Проанализирован температурный режим осенне-весеннего периода при возделывании огурца в защищенном грунте и при выращивании культуры на определенных субстратах.

Ключевые слова: огурец, комбинат, защищенный грунт, температура, урожайность

УП «Минский парниково-тепличный комбинат» является одним из первых предприятий, освоившим выращивание огурцов, салатов и зеленных культур круглогодично с использованием технологии системы досвечивания. В основу технологических процессов заложены голландский и скандинавский методы выращивания витаминной продукции. Техническая оснащенность предприятия дает возможность производить не менее 30 000 центнеров свежих овощей, салатов и зеленных культур в год. Комбинат расположен в центре города. Это позволяет доставлять свежую овощную продукцию на прилавки мелкими партиями в любое время.

Огурец ведущая культура защищенного грунта, это обусловлено его скороспелостью, высокой урожайностью, повышенным спросом на продукцию и экономической эффективностью выращивания. В зимних теплицах он занимает 70–80% (1–4-я световые зоны) и 50–60 (5–7-я зоны), а в весенних – до 90–100% площади. Опыт показывает, что огурцы, выращенные в зимне-весеннее время наиболее выгодны. Продлённая культура менее эффективна из-за низких цен в летний период, а рентабельность осенней культуры постоянно уменьшается. Снижение осенних цен связано как с низким спросом населения в этот период (есть огурцы в дачном секторе и большой выбор других овощей), так и с низким качеством плодов выращиваемых гибридов.

УП «Минский парниково-тепличный комбинат» отгружает потребителям через сутки примерно по 3 т огурцов. Эти овощи выращены в теплицах площадью 1,1 га с применением системы досвечивания, которая направлена на создание эффекта дневного света. Вся площадь комбината – 6,4 га. В конце февраля – начале марта получают созревание в защищенном грунте огурцов, возделываемых по более дешевой технологии – без искусственной подсветки. Тогда и объемы отгружаемой продукции значительно вырастают – до 10-20 т в сутки.

Огурец – достаточно трудоёмкая культура: в крупных хозяйствах (более 20 га) трудозатраты составляют 4–5 чел.-ч/ц, в менее крупных хозяйствах они на 60–70% выше. Это связано с отсутствием научно разработанных технологий выращивания и выращиванием менее урожайных мелкоплодных гибридов. Для совершенствования технологии возделывания и повышения урожайности огурца, возделываемого в тепличных условиях за счет оптимизации водного и питательного режимов при рациональном использовании материальных, трудовых и энергетических ресурсов в 2020–2021 г. был заложен трёх факторный опыт в УП «Минский парниково-тепличный комбинат». Исследования проводили в посадках гибрида F1 Яни.

При выращивании огурца в условиях защищённого грунта на капельном поливе основной задачей является оптимизация водопотребления, рациональное использование растениями питательного раствора, а также определение субстрата, при использовании которого урожайность исследуемой культуры будет наиболее высокой, экономически выгодной и экологически чистой [1].

В настоящее время в связи с ростом цен на минеральные удобрения остро встает вопрос о рациональном их использовании. Исходя из этого, нами был заложен опыт по выявлению оптимального уровня питания и соотношения питательных элементов в субстрате.

В процессе проведения исследований решались следующие задачи:

- изучить динамику водопотребления растений огурца, выращиваемого в условиях малообъёмной технологии с применением в качестве субстрата минеральной ваты, или коковита при различных уровнях водообеспеченности и концентрациях раствора;

- выявить наилучший уровень питания и оптимальное соотношение питательных элементов в субстрате для растений огурца, выращиваемого в условиях малообъёмной технологии с применением в качестве субстрата коковита;

- исследовать влияние изучаемых факторов на процесс реализации продуктивности растений огурца.

Состав питательного раствора (таблица 1, 2) всегда следует рассчитывать на основании химического состава воды. Перед началом выращивания маты необходимо увлажнять так, чтобы рН составляло от 5.0 до 5.5, а электропроводность (ЕС) между 2,5–3,0 мS в зависимости от даты высаживания и степени освещения.

Подачу питательного раствора растениям проводили установкой капельного полива, которая работает автоматически по заданным параметрам.

Температуру и относительную влажность для всех предусмотренных схемой исследований вариантов опыта поддерживали одина-

ковую, в зависимости от светового периода: 1. Декабрь – февраль; 2. Март – апрель; 3. Май – июнь.

Варианты опыта были заложены на следующих субстратах: минеральная вата, коковит средней фракции. В соответствии с условными световыми периодами заложили варианты опыта с разным объемом (л/растение в сутки) и различными концентрациями подаваемого раствора (мСм/см).

Фактор А – объем подаваемого раствора: 1) 0,5-0,9; 1,1-1,2; 1,7-1,8; 2) 0,6-1,0; 1,2-1,4; 1,9-2,2; фактор В – концентрация подаваемого раствора: 1) ЕС=2,8; 2,5; 2,0; 2) ЕС=2,5; 2,2; 1,8; 3) ЕС=2,2; 2,0; 1,7; фактор С – вид субстрата: 1) минеральная вата; 2) коковит средней фракции.

Таблица 1– Содержание питательных веществ в субстрате

Уровень питания	Содержание в мг/л субстрата				
	N	K	Ca	Mg	P
1	< 50	< 80	< 80	< 30	< 5
2	81-140	121-160	161-200	46-75	10-15
3	> 200	> 220	> 240	> 100	> 20

Таблица 2 – Соотношение питательных элементов в субстрате (в мг/л субстрата)

Соотношение	K/N	Ca/N	Mg/N	S/N
1a	< 0,7	< 0,85	-	-
2a	0,95-1,5	1,25-1,85	0,35-0,70	0,6-1,2
3a	> 1,8	> 2,15	> 0,9	> 1,7

Свет является жизненно необходимым фактором реализации процессов формирования продуктивности. Недостаточная световая энергия задерживает рост генеративных органов, образование очередных листьев, замедляет формирование и рост плодов [2]. Огурец – теневыносливая культура, однако свет является наиболее важным фактором и определяет потенциальный урожай. В связи с этим при выращивании рассады нами применялся режим досвечивания (таблица 3).

Таблица 3 – Режим досвечивания в период выращивания рассады

Период развития	Количество часов
Посев...появление первых всходов	24
3-5 дней после полных всходов	18
До высадки рассады	14-16

Температурный режим огурца определяется его тропическим происхождением. Среднесуточные температуры определяют баланс между генеративным и вегетативным ростом: большая разница между дневной и ночной температурами благоприятствует генеративным тенденциям [2, 3]. Для ускорения появления всходов и сокращения периода - всходы высадка рассады возможен более высокий температурный режим (таблица 4).

Таблица 4 – Температура воздуха в период выращивания рассады

Период развития	Температура ночью, °С	Температура днем, °С
Всходы +48 часов	27	27
От 3 до 13 дней	23	23
До конца роста рассады	20	22

В период роста и развития огурца оптимальной среднесуточной температурой считается 21°С [2, 3]. При высокой среднесуточной, дневной и ночной температурах число цветков в пазухах уменьшается. В наших исследованиях мы придерживались температурного режима, представленного в таблице 5.

Таблица 5 – Схема температурного режима после высадки рассады

Период развития	Ночь, Температура, °С	День	Начало вентиляции
От высадки рассады до первого урожая	20	21-22	27
Урожай на основном побеге	19	21-22	25
Урожай на боковых побегах	18-19	20-22	24

Урожайность огурца в исследуемых нами вариантах варьировала в пределах 31...40 кг/м². Наибольшая урожайность была получена на субстрате коковит средней фракции при подаче объема питательного раствора по условным световым периодам 1. 0,5-0,9 (декабрь - февраль); 2. 1,1-1,2 (март-апрель); 3. 1,7-1,8 (май-июнь) л/растение в сутки, в зависимости от прихода солнечной радиации при использовании 2-го варианта уровня питания N-81-140; K – 121-160; Ca – 161-200; Mg – 46-75; P – 10-15 мг/л субстрата и 2-го варианта соотношения питательных элементов K/N 0,95-1,5; Ca/N 1,25-1,85; Mg/N 0,35-0,70; S/N 0,6-0,2. Концентрация подачи питательного раствора (ЕС) по условным световым периодам была 2,5; 2,2 и 1,8 мСм/см.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жидков В.М. Оптимальные режимы орошения и питания огурца при капельном поливе // Картофель и овощи. – 2008. – № 1. – С. 23–24.
2. Осипова, Г.С. Овощеводство защищённого грунта: учебное пособие. – СПб.: Проспект Науки, 2010. – 288 с.
3. Кузнецова Н.В., Кузнецов Ю.В., Рыбаков Д.В. Температурный режим возделывания огурца в зимне-весеннем обороте// Аграрная наука – сельскому хозяйству. – 2012. – № 3. – С. 370–373.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF RESEARCH ON THE TEMPERATURE REGIME FOR CULTIVATION OF CUCUMBER IN WINTER-SPRING TURNOVER UP "MINSK GREENHOUSE-GREENHOUSE PLANT"

Strelkova E.V. Candidate of Agricultural Sciences, docent, elena.strelkova2011@mail.ru BSATU, Department of Fundamentals of Agronomy, Belarus

Abstract. The temperature regime of the autumn-spring period during the cultivation of cucumber in greenhouses and when growing crops on certain substrates is analyzed.

Key words: cucumber, plant, protected ground, temperature, yield

Научное издание

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА

**Материалы докладов 86-ой научно-технической
конференции профессорско-преподавательского
состава, научных сотрудников и аспирантов
(с международным участием)**

Электронный ресурс

В авторской редакции

Компьютерная верстка:

*Н.А. Гвоздева, Л.Ф. Папко, А.А. Ковалева, С.В. Шевченко,
В.И. Чепрасова, Н.М. Олиферович, Е.О. Черник*

Усл. печ. л. 21,68. Уч.-изд. л. 22,38.

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.