

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет»



ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХОЛОГИЯ И ТЕХНИКА
Тезисы докладов 79-й научно-технической конференции
профессорско-преподавательского состава,
научных сотрудников и аспирантов
(с международным участием)

Минск 2015

УДК 66+62]:005.745(0.034)

ББК 35я73

X 46

Химическая технология и техника : тезисы 79-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 2-6 февраля 2015 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. М. Жарский; УО БГТУ. – Минск : БГТУ, 2015. – 80 с.

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

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

Рецензенты: д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технологии стекла и керамики И. А. Левицкий
д-р хим. наук, профессор кафедры физической и коллоидной химии Л.А. Башкиров
д-р техн. наук, профессор, проректор по научной работе О. Б. Дормешкин

Главный редактор

ректор, профессор И.М. Жарский

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2015

УДК 539.14.43

В.В. Сарока, доц., канд. техн. наук;
И.О. Оробей, доц., канд. техн. наук; В.В. Лихавицкий, ассист.
(БГТУ, г. Минск)

ИЗМЕРИТЕЛЬ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

При синтезе системы стабилизации магнитного поля особое внимание уделяют первичному преобразователю. Благодаря относительной простоте конструкции первичные измерительные преобразователи на основе датчика Холла (д.Х.) широко применяются для измерения в системах управления характеристиками магнитного поля. При разработке таких систем требуется измерение с относительной погрешностью до 1% индукции низкочастотных (до 100 Гц) магнитных полей, амплитуда которых может изменяться в диапазоне $5 \cdot 10^{-5} - 1$ Тл. [1]

Измеритель индукции, используемый в системе стабилизации, работает на переменном токе в диапазоне полей $5 \cdot 10^{-5} - 1$ Тл с контурами подавления синфазного сигнала и термостабилизации. Чувствительным элементом преобразователя является д.Х. ПХЭ 602.118В, который имеет следующие характеристики: размеры – $3 \times 3 \times 0.6$ мм; входное и выходное сопротивления $R_{ВХ} = 2.6$ Ом и $R_{ВЫХ} = 3.9$ Ом; магнитная чувствительность $S = 0.045$ В/Тл при номинальном управляющем токе $I_v = 0.1$ А; остаточное напряжение $3 \cdot 10^{-6}$ В; температурные коэффициенты э.д.с. Холла и остаточного напряжения $K_{ЭДС} = 0.0006$ %/К и $K_T = 4 \cdot 10^{-8}$ В/К; нелинейность 0.12%; диапазон рабочих температур 1.5–373 К.

Работа схемы измерителя в системе стабилизации поля осуществляется следующим образом. Генератор формирует симметричные прямоугольные импульсы частотой 10^3 Гц, управляя коммутатором, который вырабатывает импульсы задающего напряжения $\pm 2,5$ В частотой 10^3 Гц для источника тока. Контур источника тока включает датчик тока с дифференциальным усилителем и пропорциональный регулятор с усилителем мощности. Через д.Х. проходят импульсы тока $\pm I_v$ с частотой 10^3 Гц. Сигнал задания и нагрузка в структуре источника тока присоединяется к общей точке аналогового блока. При этом синфазное напряжение на выводах э.д.с. Холла определяется управляющим током и $R_{ВХ}$. Дополнительное подавление синфазного сигнала на 40 дБ осуществляется контуром, включающим сумматор и усилитель мощности.

Использование в составе системы стабилизации магнитного поля первичного преобразователя на основе датчика Холла позволило существенно повысить управляемость системы.

УДК 62.50

А.В. Лапето (БГТУ, г. Минск)

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АЛГОРИТМОВ АППРОКСИМАЦИИ ЗВЕНЬЕВ ЗАПАЗДЫВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Современные условия хозяйствования, в которых функционируют предприятия химической промышленности, формировались на протяжении длительного периода и в значительной мере определены историческими факторами.

В статье рассматривается система факторов, которая позволяет отразить специфические черты и провести качественный анализ устойчивости развития организаций химического комплекса. В частности, для организаций отрасли характерен высокий уровень внутриотраслевой кооперации. Соответственно, стабильность работы предприятий, производящих продукцию более высокого передела, напрямую зависит от устойчивости функционирования технологически связанных предприятий отрасли.

Следует отметить, что внутриотраслевые поставки осуществляются по ценам, значительно более низким, чем при отгрузке на внешние рынки, тем самым осуществляется перекрестное субсидирование организаций концерна. Вместе с тем отечественные потребители химической продукции характеризуются низкой платежеспособностью, что становится причиной высокого уровня дебиторской задолженности. В результате организации вынуждены брать краткосрочные кредиты для финансирования текущей деятельности, что приводит к увеличению затрат и снижению эффективности производства. Важнейшей проблемой остается высокая импортозависимость. Анализ внутреннего потенциала химических предприятий показал, что их техническая база достаточно изношена, что не позволяет производить продукцию, в полной мере соответствующей современным требованиям к качеству и экологической безопасности. Инновационная активность большей части субъектов хозяйствования остается низкой. Учитывая положение нынешних конкурентов на внешних рынках и активизацию азиатских производителей, следует отметить необходимость укрепления позиций предприятий концерна на внешних рынках.

Представленные факторы устойчивого развития предприятий химической отрасли необходимо учитывать при разработке системы показателей оценки деятельности организаций, которая является важнейшим инструментом при выявлении приоритетных направлений и разработке стратегии их развития.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ДИСКРЕТНОГО
АПЕРИОДИЧЕСКОГО И ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРОВ
ПРИ СИНТЕЗЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ
С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ**

Во многих современных технических объектах управления (ОУ) можно наблюдать явление запаздывания, заключающееся в том, что сначала изменения сигнала на входе ОУ сигнала на выходе объекта начинает изменяться только через некоторый интервал времени.

В данной работе рассматриваются два аналитические метода синтеза систем управления: дискретный апериодический регулятор, предложенный в работах Р. Изермана и оптимальный регулятор, полученный на основе квадратичного критерия качества и уравнения Беллмана.

При синтезе дискретного апериодического регулятора период квантования (ПК) выбирался таким образом, чтобы сигнал регулирования (СР) был физически реализуем.

Синтез оптимального регулятора был осуществлён на основе слежения за сигналом задания для переменных состояния. Запаздывание было разложено в ряд Паде второго порядка. Оценка переменных состояния производилась с помощью наблюдателя, рассчитанного по формуле Аккермана на основе желаемого расположения полюсов.

В данной работе был рассмотрен ОУ третьего порядка. Расчет параметров регуляторов велся в системе MATLAB, моделирование системы управления – в среде Simulink. Для дискретного апериодического регулятора ПК был выбран равным 5 секунд, при этом максимальное значение СР не превысило 0.25. Перерегулирования для данного типа регулятора отсутствовало, время регулирования составило 17 секунд. Для оптимального регулятора как дискретного, так и непрерывного максимальное значение СР не превысило 0.55. Перерегулирования для данного типа регулятора отсутствовало, время регулирования составило 18 секунд.

Таким образом, к достоинствам оптимального регулятора можно отнести хорошие показатели качества и, как правило, физически реализуемый СР, к недостаткам – сложность технической реализации.

К достоинствам дискретного апериодического регулятора можно отнести простоту расчета его параметров и относительную простоту физической реализации, к недостаткам – необходимость выбора ПК для получения физически реализуемого СР.

УДК 621.357

С. А. Овцов, Д. С. Карпович, В. В. Сарока (БГТУ, г. Минск)

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОРТАЛЬНОГО АВТООПЕРАТОРА ДЛЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ ДО 250 кг

Работа портального автооператора гальванической линии имеет строго циклический характер, при этом переходные режимы движения их механизмов занимают значительную часть от всей длительности рабочего цикла автооператора. Одним из способов повышения эффективности работы автоматизированной гальванической линии является оптимизация переходных режимов движения автооператора с подвеской (разгон / торможение). Раскачивание подвески с грузом, которое возникает в течение переходных режимов движения автооператора, является причиной его неравномерного движения, дополнительных нагрузок на элементы привода автооператора.

Существуют три группы способов устранения колебаний груза:

- маневрирование автооператора за счет ручного управления;
- применения специальных подвесок или направляющих;
- использования адаптивных систем управления приводами автооператоров.

Первые два способа в современных условиях гальванического производства не способны обеспечить достаточное качество устранения колебаний подвески. Устранять колебания подвески можно, управляя его скоростью движения или другим кинематическим или динамическим параметром.

Постановка задачи

Поставим комплексную задачу оптимального управления движением автооператора с подвеской. Эта задача заключается в том, что необходимо найти оптимальное управление движением автооператора при устранении колебаний подвески до момента остановки. Такая постановка задачи позволяет разгонять портальный автооператор по любому закону, при этом колебания подвески сохраняются в течение установившегося движения. Примем, что подвеска с деталями в начале затормаживания колеблется (ненулевые начальные фазовые координаты системы). Новые фазовые координаты системы будут определяться из таких зависимостей:

$$\bar{x}^{(i)} = q^{(i)} - x^{(i)}, \quad i = 0, 1, \dots, n,$$

где $x^{(i)}$ - фазовая координата системы i -го порядка; $q^{(i)}$ - значение фазовой координаты $x^{(i)}$ в конце разгона автооператора; n - количество фазовых координат системы.

УДК 681.51

А. Н. Шумский, магистрант (БГТУ, г. Минск)

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА

Движение БПЛА удобно изучать в следующих прямоугольных правых системах координат (СК): земная, стартовая, связанная, скоростная и траекторная система координат. Рассмотрим наиболее распространенные СК.

Земная система координат (нормальная земная СК). Началом отсчета является выбранная точка на поверхности Земли, в качестве которой обычно выбирается точка старта БПЛА. Направления осей СК совпадают с направлением осей координатной сетки. Ось O_0X_g направлена на север (в горизонтальной плоскости), ось O_0Z_g направлена на восток (в горизонтальной плоскости), а ось O_0Y_g направлена вверх по земной вертикали.

Нормальная система координат. Начало отсчета находится в центре масс летательного аппарата. Оси СК параллельны осям земной системы координат, т. е. оси OX_g и OZ_g в горизонтальных плоскостях направлены на север и восток соответственно, а ось OY_g направлена вверх на земной вертикали. Положение между этими системами координат определяется вектором \mathbf{r} между их точками отсчета. Вектор \mathbf{r} в проекциях на ось OY_g называется геометрической высотой.

Связанная система координат. Начало отсчета также находится в центре масс БПЛА. Ось OX (продольная ось) направлена вперед по строительной оси БПЛА. Ось OZ (поперечная ось) направлена вдоль крыла вправо. Ось OY (нормальная ось) направлена вверх в плоскости симметрии БПЛА.

Скоростная система координат. Начало отсчета находится в центре масс БПЛА. Ось OX_a (скоростная ось) направлена вдоль вектора БПЛА относительно воздушного потока. Ось OZ_a (ось боковой силы) направлена вправо от оси OX_a . Ось OY_a (ось подъемной силы) лежит в плоскости симметрии и направлена вверх относительно осей OX_a и OZ_a . Математическая модель БИНС представляет собой алгоритм вычисления кинематических параметров движения БПЛА в пространстве, который для БИНС, работающей в инерциальной системе координат имеет вид:

$$\frac{dR_x}{dt} = V_x, \frac{dV_x}{dt} = n_x + g_x, \frac{dR_y}{dt} = V_y, \frac{dV_y}{dt} = n_y + g_y, \frac{dR_z}{dt} = V_z, \frac{dV_z}{dt} = n_z + g_z$$

УДК 66.011

В. П. Кобринец, доц.; Н. П. Коровкина, доц. (БГТУ, г. Минск)
**ПРИМЕНЕНИЕ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО
ПРИВОДА КАК ОСНОВА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Развитие силовой и информационной электроники в последней четверти XX в. привело к появлению на рынке ряда новых электроприводов с различными типами электромеханических преобразователей (синхронными реактивными, синхронными с постоянными магнитами, индукторными и др.) и электронными коммутаторами — аналогами традиционных коллекторов.

Новый вентильно-индукторный электропривод близок к перспективному практическому применению во многих сферах, где необходим простой и надежный энергосберегающий регулируемый электропривод.

В данной работе проведено определение экономии электрической энергии при замене асинхронных двигателей вентильно-индукторными двигателями (ВИД). Экономичность оценивалась по: сэкономленной электроэнергии, экономии денежных средств на электроэнергию, сроку окупаемости. Исходными величинами для расчета экономичности применения ВИД на приводе электродвигателей насосов и вентиляторов явились следующие: номинальные мощности асинхронного двигателя и ВИД, коэффициенты полезного действия этих двигателей, число часов работы за год, стоимость ВИД.

Экономический эффект от реализации энергосберегающего мероприятия определяли с учетом приведения к номинальному режиму эксплуатации оборудования, т.к. при труднопрогнозируемом режиме работы оборудования и значительном его отклонении от номинального годовая экономия электроэнергии и за более длительный период может существенно отличаться от расчетной.

Экономии электрической энергии при замене асинхронных двигателей на ВИД одинаковых мощностей электроприводов насосных и вентиляторных установок в химико-технологических производствах определяем по величине снижения потерь.

Расчеты показали, что при использовании вентильно-индукторного электропривода наряду с техническими преимуществами этих двигателей, ВИД дает значительную экономию электроэнергии на предприятиях при сравнительно небольшом сроке окупаемости. Срок окупаемости мероприятия зависит, в большей степени, от стоимости ВИД.

УДК 681.3

Д.А. Гринюк, канд. техн. наук, доц.; А.А. Ляхов, магистрант;
А.В. Другак, студ. (БГТУ, г.Минск)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КВАНТОВАНИЯ НА ОБРАБОТКУ ДАННЫХ В КОНТРОЛЛЕРЕ

Наличие автоматизации технологических процессов стало обязательным условием в современных экономических условиях. Период экстенсивного пути повышения уровня автоматизации за счет установки измерительных приборов с необходимой точностью и настройкой локальных контуров практически завершился. Получение конкурентных преимуществ требует применения более сложных алгоритмов, адаптации локальных контуров под действием изменяющихся контуров и оптимизации в реальном времени. Для построения эффективных систем управления требуется использовать динамическую компенсацию основных возмущений и идентификацию каналов регулирования. Повышение эффективности за счет математической обработки трендов следует проводить с осторожностью, так как измерительная информация может быть существенно искажена измерительными каналами.

Регулирование технологических параметров на сегодняшний день осуществляют программируемыми логическими контроллерами (PLC). Заявленная разрядность ADC и DAC современных находится в диапазоне 10-12 разрядов. Эффективная же разрядность еще ниже, поскольку определенная часть динамического диапазона модулей контроллера используют для компенсации потенциальных смещений каналов и диагностики.

Дискретизация аналоговых каналов в первую очередь повлияет на адекватность вычисления производных. С целью оценки вероятности ошибки вычисления производных было смоделирована ситуация работы объекта регулирования при разных значениях младшего разряда и оценена погрешность вычисления. Сигнал по каналу задания менялся плавно с различной величиной ускорения. Погрешность оценивалась по отношению к чисто аналоговой работе контура. Анализ результатов показал, что при вычислении только первой производной относительная погрешность может достигать 2000% ошибки. Наибольшая ошибка достигается при изменении знака ускорения сигнала задания. В среднем же при наличии на диапазоне работы 2000 комбинаций ADC она была 30-40%. Вычисление второй и третьей производной приводило к значительно большим погрешностям. Поэтому при использовании компенсаторов с необходимостью вычисления производных стоит ограничиваться первым порядком.

УВЕЛИЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОТЕЧЕК ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

В комплексе разнообразных испытаний изделий, от приемосдаточных до контрольно-выборочных, проводимых для обеспечения качества создаваемой продукции, не последнее место занимают технологические испытания на герметичность. Механизация и автоматизация процессов испытания, автоматическая электронная регистрация полученных данных, маркировка – наиболее эффективный путь сокращения трудовых и материальных затрат.

При большом потоке разнообразия запорной арматуры с практической точки зрения удобным является размещение средств фиксации протечек в линии высокого давления. Существенный вклад в чувствительность метода вносит теплотехнические процессы, которые происходят в процессе подъема давления, а также неопределенность с объемом полостей находящихся под давлением испытания. Для устранения влияния флуктуаций температуры применяют дифференциальную схему, суть которой в установке в линии между источником давления и арматурой клапана и датчика дифференциального давления на нем. Динамическое управление клапаном в процессе испытания вместе с дифференциальной датчиком перепада давления получить существенный выигрыш в чувствительности по сравнению с использованием анализа тренда датчика избыточного давления.

Поскольку объем между клапаном и источником воздуха может быть определен заранее с высокой точностью, то путем теплового или механического воздействия можно производить оценку соотношения известного и неизвестного объема. В качестве воздействия может быть использовано механическое воздействие для изменения объемов полости, например, через прорезиненную мембрану. Данное решение, обладает возможностями варьирования алгоритмов движения для обеспечения высокой точности измерения. Еще одним решением является использование теплового воздействия. Установка двух одинаковых электрических нагревателей до и после клапана, и формирование коротких импульсов тока небольшой мощности приведет небольшому изменению температуры в районе градуса, и одновременно, к возникновению перепада давления.

УДК 621.3.082

Д.А. Гринюк, канд. техн. наук, доц.;
И.О. Оробей, канд. техн. наук, доц.; Н.М. Олиферович, ассист.
(БГТУ, г. Минск)

АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ВПИТЫВАНИЯ И АНАЛИЗ ИХ ТОЧНОСТИ

Измерительные схемы преобразователей капиллярного впитывания могут быть построены на различных принципах, однако наибольшее распространение получили приборы на основе преобразования емкости в частоту (время) за счет мультивибраторов или резонансных контуров. Данные подходы к построению измерительных схем в той или иной степени чувствительны к паразитной активной составляющей преобразователей. Учесть паразитные составляющие в емкостном преобразователе можно путем использования схем определения полного сопротивления, но такие приборы значительно сложнее в изготовлении и требуют использования микропроцессорных элементов.

Проведенные эксперименты показали, что самой перспективной схемой для построения измерительного преобразователя является проведение измерения путем формирования гармонического сигнала на измерительную систему и оценка прохождения его по измерительной цепи. При использовании гармонического воздействия возможно формирование сигнала как от источника тока, так и от источника напряжения.

Поскольку сопротивление в измерительной ячейке изменяется от $2 \cdot 10^6$ до 120 Ом, а на вход АЦП максимум 3,6 В, то надо иметь возможность менять ток от 25 мА до 3,6 мкА. Для это придется использовать два управляемых усилителя до и после измерительной ячейки.

Одним из возможности получение информации об емкости является построение квадратурного демодулятора. Его можно реализовать на аналоговой схемотехнике.

Выделение реактивной составляющей может производится и непосредственно в контроллере путем использования быстрого преобразования Фурье. Исходя из того, что на период надо 16-32 точки, а быстродействие встроенного в контроллер АЦП не дотягивает до 1 МГц, частота может быть не больше 10-50 Гц, что находится на границе желаемой зоны измерения.

Можно задействовать внешнее параллельное АЦП с FPGA. В это случае выделение полезной составляющей будет производится непосредственно в матрице FPGA, а контроллер будет обеспечивать общее управление и фиксирование непосредственной динамики изменения емкости.

УДК 681.3

Д.А. Гринюк, канд. техн. наук, доц.; А.М. Шитик, студ.
(БГТУ, г.Минск)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИКИ ВОЗДУШНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Контроллер подключен к оборудованию с нерегулируемыми электрическими нагревателями, которые обдувались потоком воздуха. Скорость потока регулировалась путем изменения частоты вращения двигателя вентилятора. В качестве информативных параметров использовались температуры воздуха на входе и выходе, информация о частоте с привода напрямую и через вторичный преобразователь. Объект имеет нелинейную статическую характеристику. Поэтому для снятия динамических каналов регулирования были проведены серия активных экспериментов на различных диапазонах возможного регулирования.

Тренды через OPC сервер фиксировались и обрабатывались в последующем в пакете программ Matlab. Вид переходного процесса показал, что несмотря на наличие сложного процесса теплообмена, признаков запаздывания как транспортного, так и апериодического, не наблюдается. Что говорит об отсутствии влияния распределенности на динамические свойства объекта. На всем диапазоне исследований переходные процессы описывались апериодическим звеном второго порядка и погрешности не выходила за рамки 2 младших разрядов АЦП входного модуля (табл.).

Таблица - Результаты всех экспериментов

№	$T_1, *$ с	$T_2, **$ с	$k, ***$ °С/Гц	Диапазон изменения входного воздействия
1	651,2	110,2	- 0,9829	с 5,42 до 25,3 Гц
2	583,2	82	- 0,7811	с 25,3 до 12,7 Гц
3	336,1	118,9	- 0,6663	с 12,7 до 25,3 Гц
4	533,5	336,1	- 0,7487	с 25,3 до 12,7 Гц
5	363,1	85	- 0,5117	с 12,7 до 36,2 Гц
6	613,5	162,7	- 0,6877	с 36,2 до 12,7 Гц

Примечания: * – большая постоянная времени аппроксимации; ** – меньшая постоянная времени аппроксимации; *** – размерный коэффициент передачи

Результаты показываю при стабилизации температуры воздуха путем изменения скорости движения воздуха около нагревателя приходится иметь дело с объектом с существенным колебанием свойств и нелинейностями. Объект имеет существенную гистерезисную характеристику как по коэффициенту передачи, так и постоянным времени.

УДК 549.62

Д.А. Гринюк, канд. техн. наук, доц.; Н.М. Олиферович, ассист.;
О.С. Рыжова, студ. (БГТУ, г.Минск)

О РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЯ ВПИТЫВАНИЯ

С получением численного решения в рамках инженерной среды вычислений MatLAB также столкнулись с серьезными проблемами. Если подставлять в модель реальные физические значения параметров вязкости и размеров пор, то система зависает и не позволяет получить решение на всей кривой динамики движения фронта пропитки. Увеличение значения основных параметров приводит же к быстрому решению, совпадающему с результатами экспериментов. Только временной масштаб имеет существенные расхождения. Проблемой является, то что для удовлетворительной ошибки численного решения MatLAB существенно уменьшает шаг интегрирования на начальном этапе динамики.

Уравнение в общем случае имеет вид

$$\ddot{x} = -a_0 \dot{x} - \frac{\dot{x}^2}{x} + \frac{1}{x} a_1 + a_2 - a_3 x.$$

Для ускорения решения было сделано ряд подстановок. Первая подстановка

$$x = \exp(y); \quad \dot{x} = \dot{y} \exp(y); \quad \ddot{x} = \ddot{y} \exp(y) + \dot{y}^2 \exp(y)$$

ускорить расчет примерно 3-4 раза, но использовать ее для оптимизации конструкции измерительного прибора все таки не дала возможности. Более удачной оказалась подстановки вида

$$x = \sqrt{\frac{2a_1}{a_0} \left(\frac{a_2 \sqrt{2}}{\sqrt{a_0 a_1}} f(t) + t + \frac{\exp(-a_0 t) - 1}{a_0} \right)},$$

которая позволила ускорить получение результатов в несколько десятков раз.

Для получения полного решения приходится находить решение уравнения

$$\frac{f(t)'' + a_0 f(t)' + \frac{a_3}{a_2} \sqrt{2a_1 a_0} g(t) - a_0 \sqrt{g(t)}}{\sqrt{g(t)}} \frac{a_2}{a_0} = 0,$$

где

$$g(t) = \frac{a_2 \sqrt{2}}{\sqrt{a_0 a_1}} f(t) + t + \frac{\exp(-a_0 t) - 1}{a_0}.$$

ПРОЦЕДУРА УСИЛЕНИЯ СЛАБЫХ СИГНАЛОВ В СЛОЖНЫХ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМАХ

Исследования поведения сложных систем показали, как отдельные объекты так и системы (биологические организмы, социально-экономические системы), самоорганизуются в многосвязные структуры и ведут себя нелинейным образом, являясь сложными адаптивными системами (САС).

САС неоднородна, в ней имеются обширные области устойчивости, разделенные между собой небольшими зонами неустойчивости в которых система высоко-чувствительна, так что именно в них возникают и могут проявляться так называемые слабые сигналы.

Слабые сигналы — малозаметные события (идеи, факты, факторы, процессы), которые потенциально могут привести к значительным последствиям [1]. Они важны, их детектирование и правильное толкование может быть вопросом успеха или поражения той или иной системы. Тем не менее, традиционное мышление и инструменты стратегического планирования и ограничивают нашу способность распознавать и использовать слабые сигналы.

В работе проанализированы источники обнаружения слабых сигналов в различных системах и предложена процедура их усиления, включающая в себя ряд основных этапов: идентификация перспективы (т.е. концептуальной точки зрения, с которой ищутся слабые сигналы. По мере погружения можно изменить точку зрения на какую-то более достоверную и начать процедуру заново); определение потенциала слабых сигналов и их способности повлиять на систему; определение условий включения (развития, срабатывания) слабого сигнала, т. к. он обладает возможностью изменить систему [2]; активация слабого сигнала и условия ее реализации; использование традиционных методов (анализ тенденций, планирование сценариев и т. д.).

ЛИТЕРАТУРА

1 Harris, S. Dyer, Zeisler, Steven. Weak Signals: Detecting the Next Big Thing // The Futurist. 2002. Vol. 36, №6, November-December, pp. 21-29.

2 Pushnoi, G. S., Bonser G. L. (2008). Method of Systems Potential as “Top-Bottom” Technique of the Complex Adaptive Systems Modelling. Intelligent Complex Adaptive Systems, IGI-Publishing, London, pp. 26-73.

СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ФЕРРИТА ВИСМУТА $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$

До настоящего времени одним из наиболее перспективных соединений, на основе которого разрабатывают новые магнитоэлектрические материалы, является феррит висмута BiFeO_3 со структурой перовскита, что обусловлено высокими значениями его температуры Нееля ($T_N = 643 \text{ K}$) и сегнетоэлектрической температуры Кюри ($T_C = 1083 \text{ K}$). Недавно было обнаружено, что и $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ может проявлять свойства мультиферроика. Это привело к увеличению числа работ, посвященных изучению свойств феррита $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ и твердых растворов на его основе. В связи с этим в данной работе проведены исследования влияния изовалентного замещения в $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ ионов Bi^{3+} ионами La^{3+} , а также гетеровалентного замещения ионов Fe^{3+} одновременно ионами Ti^{4+} и Co^{2+} на физико-химические свойства образующихся твердых растворов $\text{Bi}_{2-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$, $\text{Bi}_2\text{Fe}_{4-2x}\text{Ti}_x\text{Co}_x\text{O}_9$.

Установлено, что при замещении в $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ от 5 до 40 мол.% ионов Bi^{3+} ионами La^{3+} , а также от 5 до 15 мол.% ионов Fe^{3+} ионами Ti^{4+} и Co^{2+} происходит образование соответствующих твердых растворов $\text{Bi}_{2-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$ и $\text{Bi}_2\text{Fe}_{4-2x}\text{Ti}_x\text{Co}_x\text{O}_9$. Однако данные рентгенофазового анализа указывают на незначительное количество примесной фазы BiFeO_3 в полученных образцах. Это может быть связано с тем, что в интервале температур 300–1000 К образование $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ из оксидов термодинамически более выгодно, чем BiFeO_3 , но эти процессы конкурируют между собой. Об образовании твердых растворов на основе $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ свидетельствуют также данные ИК-спектроскопии. Результаты исследования полевых зависимостей намагниченности для твердых растворов $\text{Bi}_{2-x}\text{La}_x\text{Fe}_4\text{O}_9$ при температурах 300 К и 5 К указывают на наличие в них отрицательного обменного взаимодействия, приводящего к антиферромагнитному расположению магнитных моментов двух подрешеток (октаэдрических и тетраэдрических), в которых расположены ионы Fe^{3+} , а также о присутствии слабого ферромагнетизма в твердых растворах $\text{Bi}_2\text{Fe}_{4-2x}\text{Ti}_x\text{Co}_x\text{O}_9$. Показано, что при введении ионов La^{3+} в кристаллическую структуру $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ ($T_N = 258 \text{ K}$) происходит смещение температуры Нееля T_N в низкотемпературную область: для $\text{Bi}_{1,95}\text{La}_{0,05}\text{Fe}_4\text{O}_9$ она равна 246 К, а для $\text{Bi}_{1,8}\text{La}_{0,2}\text{Fe}_4\text{O}_9$ $T_N = 243 \text{ K}$.

СИНТЕЗ СЕГНЕТОМАГНИТНОГО $\text{Vi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$ ИЗ ПРЕКУРСОРА $\text{Vi}_{1,8}\text{La}_{0,2}\text{Fe}_4\text{O}_9$ И ОКСИДА Vi_2O_3

Наиболее перспективным сегнетомагнетиком, способным найти широкое применение в различных электронных устройствах нового поколения, является феррит висмута ViFeO_3 . Это одно из немногих веществ, которые сочетают электрическое и магнитное упорядочение при рекордно высоких температурах. Целью данной работы являлась разработка твердофазного метода синтеза сегнетомагнетика $\text{Vi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$ из прекурсора $\text{Vi}_{1,8}\text{La}_{0,2}\text{Fe}_4\text{O}_9$ и оксида Vi_2O_3 .

Синтез поликристаллического образца феррита $\text{Vi}_{1,8}\text{La}_{0,2}\text{Fe}_4\text{O}_9$, являющегося прекурсором при получении сегнетомагнетика $\text{Vi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$, осуществлен методом твердофазных реакций из оксидов Vi_2O_3 , Fe_2O_3 , La_2O_3 обжигом их на воздухе при $T = 800^\circ\text{C}$ в течение 8 ч. Для синтеза образца феррита $\text{Vi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$ порошки прекурсора $\text{Vi}_{1,8}\text{La}_{0,2}\text{Fe}_4\text{O}_9$ и оксида Vi_2O_3 смешивали в стехиометрическом соотношении в соответствии с реакцией $\text{Vi}_{1,8}\text{La}_{0,2}\text{Fe}_4\text{O}_9 + \text{Vi}_2\text{O}_3 = 4\text{Vi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$ и обжигали при трех различных режимах: I – $T = 830^\circ\text{C}$, 30 мин; II – $T = 900^\circ\text{C}$, 30 мин; III – $T = 900^\circ\text{C}$, 4 ч. При выборе температуры синтеза учитывались температуры инконгруэнтного плавления соединений $\text{Vi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ (960°C) и ViFeO_3 (930°C), что лимитировало верхнюю границу температурного диапазона обжига значением 900°C .

Установлено, что образцы $\text{Vi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$ имели кристаллическую структуру ромбоэдрически искаженного перовскита, параметры элементарной ячейки которых хорошо согласуются с литературными данными. Вместе с этим на рентгенограммах образцов $\text{Vi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$, обожженных при $T = 830^\circ\text{C}$ в течение 30 мин и $T = 900^\circ\text{C}$ в течение 30 мин, присутствовали следовые количества примесных фаз, в частности, антиферромагнитной фазы муллита $\text{Vi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ и парамагнитной фазы силленита $\text{Vi}_{25}\text{FeO}_{39}$. При этом синтез, проведенный при более продолжительном времени обжига (4 ч при $T = 900^\circ\text{C}$), привел к получению однофазных образцов $\text{Vi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$. Таким образом, можно заключить, что данный температурно-временной режим является наиболее оптимальным для получения замещенного сегнетомагнетика $\text{Vi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$ из прекурсора $\text{Vi}_{1,8}\text{La}_{0,2}\text{Fe}_4\text{O}_9$.

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АЛЮМИНИЯ
И АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА К КОНТАКТНОЙ КОРРОЗИИ
В ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПАРАХ СО СТАЛЯМИ
С ЗАЩИТНЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ**

Проведено исследование и сопоставление коррозионной устойчивости алюминия и его сплава Д16 к контактной коррозии в гальванопарах со сталями Ст3 и 12Х18Н9Т, на поверхность которых нанесены различные металлические покрытия. В качестве металлов для нанесения покрытий на стальные подложки, выбраны цинк, кадмий и алюминий. Покрытия формировались методами гальванического и вакуумного ионно-лучевого ассилируемого осаждения. Толщина гальванических покрытий составляла ~ 10 мкм. Покрытия, полученные вакуумным осаждением, представляли собой многокомпонентные слои, содержащие наряду с элементами подложки, осаждаемые металлы в небольших количествах $\sim 10^{17}$ ат/см². Исследование гальванической совместимости сформированных покрытий в гальванопарах с алюминием и его сплавом Д16 проведено электрохимическими методами в 3%-м растворе NaCl. Ресурсные испытания коррозионной устойчивости проведены в растворе 3% NaCl + 0,1% H₂O₂.

Цинковые и кадмиевые покрытия на сталях, сформированные обоими методами, проявляют электрохимические характеристики осаждаемого металла. Цинковые покрытия в гальванопарах с алюминием и его сплавами являются анодными, а алюминиевые – катодными. Кадмиевые покрытия имели стационарный потенциал, близкий к потенциалу алюминия и его сплава. Наилучшей гальванической совместимостью с алюминием и его сплавами в растворе 3% NaCl обладают кадмиевые покрытия.

Скорость контактной коррозии алюминия и его сплава в гальванопарах с исходными сталями составляла $\sim 10^{-2}$ мА/см², а в гальванопарах с алюминиевыми покрытиями на сталях – $\sim 10^{-3}$ мА/см². В гальванопарах с цинковыми и кадмиевыми покрытиями на сталях коррозии подвергается металл покрытия. Скорость саморасстворения цинка составляет $\sim 10^{-2}$ мА/см², а кадмия – $\sim 10^{-3}$ мА/см².

Ресурсными испытаниями установлено, что гальванические покрытия в большей степени снижают скорость контактной коррозии Al и его сплава, чем покрытия, полученные вакуумным ионно-ассилируемым осаждением.

УДК 544.723.212

П.Б. Кубрак, ст. преп., канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск);

А.В. Костюкевич, вед. технолог

(ЧНПУП «Инновационные материалы и технологии», г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ БЕНТОНИТОВ ДЛЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ГАЛЬВАНОСТОКОВ

Одними из наиболее перспективных методов очистки загрязненных вод от ионов тяжелых металлов являются сорбционные. При этом большая роль отводится сорбционным материалам, которые должны быть доступными, иметь высокую механическую прочность, способность к многократной регенерации, устойчивость к агрессивным средам. В последнее время все большую популярность приобретают природные сорбенты, стоимость которых невелика ввиду простоты добычи. Среди таких минералов и бентонитовые глины. В составе бентонита преобладающим минералом является монтмориллонит, обладающий выраженными сорбционными и ионообменными свойствами. Монтмориллонит содержит катионы металлов, которые выступают в качестве обменных катионов.

Установлено, что одним из наиболее эффективных путей увеличения сорбционной активности бентонитов является химическая, механо-электромагнитная и др. виды активации, модификация ПАВами. Эти процессы целесообразно проводить без разрушения кристаллохимической структуры. После обработки поверхность материала имеет избыточный отрицательный заряд и может быть в дальнейшем модифицирована дополнительными способами.

Отработаны методики анализа сорбируемых компонентов, активации бентонита. Установлено, что наибольшей сорбционной емкостью обладает бентонит после содовой активации.

Исследуемые растворы с повышенной концентрацией хрома готовились с учетом его содержания в промывных водах процессов хромирования. Максимальная сорбционная емкость по ионам хрома (III) составила 92,5 мг/100 грамм бентонита. При $\text{pH} \geq 3$ извлечение хрома (III) достигается за счет сорбции и соосаждения коллоидных частиц переменного состава.

Максимальная степень извлечения хрома (VI) 29% достигнута при pH 4,5 в стационарном режиме. При увеличении pH до 6 и при перемешивании раствора степень извлечения составляла 27%. За время сорбции 2 часа и изменении pH от 4,5 до 6 величина емкости соответственно изменялась от 34 мг до 32 мг/100 грамм бентонита. В области pH 7-9 сорбция хрома (VI) практически отсутствует.

Установлено, что повышение концентрации анионных форм хрома (VI) в растворе приводит к снижению сорбции либо полному ее прекращению ввиду возрастания доли димера $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. Наиболее активно сорбция хрома (III и VI) протекает в первые 10-20 минут.

Первичные результаты по активации солями алюминия крупногранулированного бентонита показали незначительное изменение сорбционной активности по отношению к катионам тяжелых металлов.

Проведенные исследования показывают, что сорбционная активность по отношению к различным ионным формам хрома гранулированного бентонита, содержащего УНМ, в низкоконцентрированных водных растворах зависит от способа активации, pH раствора, гидродинамического режима и доступности сорбируемых компонентов к активным центрам. Последнее подтверждается увеличением сорбционной активности при диспергации гранул бентонита.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения сорбционной активности различных бентонитовых глин по отношению к нефтепродуктам, ионам тяжелых металлов, радионуклидам является наномодифицирование.

Установлено, что введение наночастиц углерода в бентонит на стадии грануляции позволило обеспечить механическую прочность гранул. Наномодифицирование и наноструктурирование может быть реализовано путем высокоэнергетической механоактивации в планетарных, шаровых измельчителях, бисерных мельницах, где обеспечивается ударное нагружение со сдвигом. Такая обработка позволит совершенствовать технологию их грануляции для создания объемных фильтрующих загрузок повышенной механической прочности и ресурса работы.

Необходимо отметить, что для организации производственных фильтроциклов «сорбция-десорбция» в динамических режимах должен использоваться хорошо структурированный сорбент в виде композита бентонит-древесные опилки-наночастицы углерода. В качестве каркаса композита целесообразно использование древесных опилок, обладающих, в свою очередь, высокой сорбционной активностью по отношению к ионам хрома.

УДК 546.87:546.881

И.М. Жарский, проф., канд. хим. наук;
И.И. Курило, доц., канд. хим. наук;
Е.В. Крышилович, ассист.; Д.С. Харитонов, магистрант
(БГТУ, г. Минск)

СИНТЕЗ ПИГМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Потенциальным источником вторичного ванадийсодержащего сырья для Республики Беларусь являются отработанные ванадиевые катализаторы сернокислотного производства, твердые продукты сгорания углеводородного сырья на тепловых электростанциях и продукты глубокой переработки нефти: кокс термоконтактного крекинга, гудрон. Концентрация ванадия в промышленных отходах в 10–100 раз превышает его содержание в рудном сырье. Суммарный объем ванадийсодержащих отходов на предприятиях нашей страны в настоящее время составляет около 11 тыс. т. Складирование данного вида отходов, относящегося ко второму классу опасности, сопряжено с изъятием земель под шламохранилища, загрязнением поверхностных стоков и подземных вод, а также приземной атмосферы и почв токсичными компонентами. Поэтому актуальность переработки ванадийсодержащих промышленных отходов обусловлена не только рентабельностью производства, но и обостряющейся экологической ситуацией.

На основании проведенных исследований разработаны гидрометаллургические способы переработки отработанных ванадиевых катализаторов (ОВК) сернокислотного производства типа сульфованадата на силикагеле и ванадийсодержащих шламов теплоэлектростанций. Предложенные способы позволяют извлекать до 95–98% ванадия, содержащегося в промышленных отходах. Содержание V_2O_5 в выделенном продукте составляет более 85%, что отвечает требованиям ТУ на данный реагент.

Одним из перспективных направлений применения вторичных ванадийсодержащих продуктов является синтез пигментов на основе малорастворимых ванадатов, которые являются альтернативой токсичным свинец- и хромсодержащим пигментам. Разработка способов получения пигментов для лакокрасочной промышленности на основе продуктов комплексной переработки ванадийсодержащих промышленных отходов позволит не только решить задачи ресурсосбережения, существенно снизить себестоимость продукции, но и уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Синтез малорастворимых ванадатов висмута(III), железа(III), никеля $Ni_3(VO_4)_2$, цинка $Zn_3(VO_4)_2$, меди $Cu_2V_2O_7$ и кальция CaV_2O_6 , а также смешанных ванадатов висмута(III) и железа(III), висмута(III) и кальция проводили сольвотермическим методом с использованием в качестве прекурсоров водных растворов, приготовленных из реагентов марки х.ч., а также V_2O_5 , выделенного в результате переработки ванадийсодержащих промышленных отходов. Установлено, что применение для синтеза в качестве ванадиевого компонента метаванадата натрия марки «х.ч.» вместо выделенного из отходов V_2O_5 не оказывает значительного влияния на состав и свойства конечного продукта.

Изучение механизмов структурообразования малорастворимых ванадатов показало, что в процессе синтеза при вызревании продукта примеси твердых декаванадатов постепенно переходят в менее конденсированную форму. Использование ультразвуковой обработки суспензий в ходе синтеза позволяет интенсифицировать процесс синтеза в 4–5 раз, способствует получению частиц более ровной сферической формы, но несколько ухудшает колористические свойства пигмента. Частицы синтезированных пигментов имеют достаточно однородный гранулометрический состав: доля основной фракции для ванадатов висмута и железа(III) составляет от 0,1 до 2,0 мкм. Частицы ванадатов двухвалентных металлов имеют размеры от 10 до 90 мкм. Истинная плотность порошков, установленная пикнометрическим методом, составляет 6,0–7,5 г/см³, что сравнимо с хроматом свинца. Маслоспособность полученных образцов сопоставима с маслоспособностью высокоосновных хроматов цинка (около 30 г/100 г пигмента). Низкая маслоспособность ванадатов дают возможность применять их для очень твердых покрытий и тонких лакокрасочных пленок, а также определяют относительно невысокую стоимость лакокрасочного материала на его основе. Изучение колористических характеристик полученных пигментов показало, что их координаты цвета соответствуют цветам, применяемым в настоящее время в лакокрасочной и полиграфической промышленности. Значение pH водной суспензии малорастворимых ванадатов составляет 6,4–7,1, что обеспечивает коррозионную устойчивость стальной подложки, находящейся в контакте с пигментом.

Таким образом, проведенные исследования показали целесообразность использования продуктов переработки промышленных ванадийсодержащих отходов для синтеза лакокрасочных пигментов на основе малорастворимых ванадатов.

УДК 628.316.12:546.56

Е.В. Михедова, мл. научн. сотр.; В.В. Яскельчик, асп.;

А.А. Черник, доц., канд. хим. наук;

И.М. Жарский, проф., канд. хим. наук

(БГТУ, г. Минск)

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ ИЗ ПРОМЫВНЫХ ВОД ВАНН УЛАВЛИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА

Одним из перспективных методов извлечения металлов из отработанных электролитов и промывных вод как по реализации в гальваническом производстве, так и в аппаратурном исполнении является электролиз, который позволяет получать металлы в наиболее концентрированном виде и требует минимальных затрат энергии для их дальнейшей переработки [1,2].

Данный метод очистки имеет ряд преимуществ перед остальными способами: упрощенная технологическая схема при эксплуатации производственных установок; легкая автоматизация их работы; меньшие производственные площади, необходимые для размещения очистных сооружений; возможность обработки растворов без предварительного разбавления; не увеличение солесодержания стоков и уменьшение количества осадков после обработки [2].

Эффективность процесса существенно зависит от массопереноса, концентрации ионов металлов, процессов, протекающих при проработке, плотности тока, материала и вида электродов, наличия или отсутствия динамического режима, энергозатрат и других факторов [1–4].

В работе исследовалось влияние нестационарных токовых нагрузок на процесс извлечения ионов меди из модельного раствора ванны улавливания после серноокислого меднения следующего состава: H_2SO_4 – 50–60 г/дм³, CuSO_4 – 50–60 г/дм³. Импульсные режимы электролиза задавали с помощью потенциостата ПИ-50-1.1 с программатором ПР-8. В качестве катодов использовали медные пластины.

Все значение выхода по току мед в импульсном режиме электролиза при скважности 0,5 больше чем значения для стационарного электролиза при той же эффективной плотности тока (0,25 А/дм²). Это указывает на частичное исключение диффузионных ограничений осаждения меди при данных параметрах импульсного электролиза. Максимальное значение выхода по току меди достигает 98 % и наблюдается при длительности паузы 10 с. Резкое падение выхода по току меди при длительности импульса 100 с связано с увеличением доли электричества, затрачиваемого на реакцию выделения водорода в услови-

ях быстрого уменьшения концентрации ионов меди в приэлектродной области.

При уменьшении скважности импульса до 0,33 максимальное значение выхода по току наблюдается при длительности паузы 2 с, что наиболее вероятно связано с ростом плотности тока в импульсе, и следовательно быстром обеднении приэлектродного пространства ионными меди при больших временах паузы.

Использование скважности 0,165 при импульсном электролизе для исследованного электролита позволяет достичь выхода по току меди порядка 75 % при длительности паузы 5 с, что сопоставимо с выходом по току в стационарном электролизе при данной эффективной плотности тока.

Плотность тока в импульсе для скважности 0,165 приближается к значению предельного тока осаждения меди, что обуславливает малые величины выхода по току при больших и малых длительностях паузы.

Таким образом, с целью снятия диффузионных ограничений при восстановлении ионов меди в разбавленных растворах путем подбора параметров нестационарности установлено, что наилучшие результаты были достигнуты при использовании импульсного электролиза со скважностью 0,5 и временем паузы 10 с ($i_{эф} = 0,25 \text{ А/дм}^2$). Данные технологические параметры позволяют достичь выхода по току меди порядка 98 % для растворов из ванн улавливания после сернокислого гальванического меднения с содержанием ионов Cu^{2+} концентрацией 20 г/л.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство. – М.: Глобус, 1998. 302 с.
2. Белобаба А.Г., Маслий А.И., Бочкарев Г.Р., Пушкарева Г.И. Глубокое извлечение Cu и Zn из промывных растворов процесса хроматирования цинка // Гальванотехника и обработка поверхности. 2004. № 3. С.30–34.
3. Виноградова А.В., Кладити С.Ю., Виноградов С.С. Регенерация цинка из ванны улавливания после цинкования в сернокислом, цинкатном и аммиакатном электролитах // Гальванотехника и обработка поверхности. 2009. № 2. С.49–56.
4. Виноградова А.В., Кладити С.Ю., Виноградов С.С. Регенерация меди из ванны улавливания после меднения из сернокислого электролита // Гальванотехника и обработка поверхности. 2010. Т. 18. № 4. С. 49–56.

УДК 536.413+537.31/.32+54-31+666.654

А.И. Клындюк, доц., канд. хим. наук;

Н.С. Красуцкая, мл. науч. сотр. (БГТУ, г. Минск)

И.В. Мацукевич, к.х.н., уч. секретарь (РУП ЦНИИ КИВР),

Е.А. Чижова, доц., канд. хим. наук. (БГТУ, г. Минск)

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФАЗОВО НЕОДНОРОДНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ СЛОИСТОГО КОБАЛЬТИТА КАЛЬЦИЯ

В настоящей работы явилось изучение влияния катионной нестехиометрии и термической предыстории на фазовый состав, микроструктуру, физико-химические и функциональные свойства фазово неоднородных производных $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$. Керамику состава $\text{Ca}_3\text{Co}_{3,8}\text{O}_{9+\delta}$, $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ и $\text{Ca}_3\text{Co}_{4,2}\text{O}_{9+\delta}$ синтезировали цитратным методом с последующим спеканием на воздухе при температурах 920 и 970°C.

В результате проведенных исследований было установлено, что отожженные при температуре 920°C образцы, а также спеченная при 970°C керамика состава $\text{Ca}_3\text{Co}_{3,8}\text{O}_{9+\delta}$, в пределах точности РФА, являются однофазными и содержат фазу слоистого кобальтита кальция $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$, тогда как отожженные при 970°C кобальтиты состава $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$ и $\text{Ca}_3\text{Co}_{4,2}\text{O}_{9+\delta}$ состоят из двух фаз – квазиодномерного кобальтита кальция $\text{Ca}_3\text{Co}_2\text{O}_6$ и оксида кобальта Co_3O_4 , причем, согласно результатам электронной микроскопии, все образующие керамику фазы представляют собой не индивидуальные соединения, а твердые растворы замещения $(\text{Ca},\text{Co})_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$, $(\text{Ca},\text{Co})_3\text{Co}_2\text{O}_6$ и $(\text{Co},\text{Ca})_3\text{O}_4$.

Все полученные в работе материалы являются полупроводниками *p*-типа, причем наибольшей электропроводностью характеризуется керамика состава $\text{Ca}_3\text{Co}_{4,2}\text{O}_{9+\delta}$, спеченная при 970°C, а наибольшие значения коэффициента термо-ЭДС демонстрируют материалы того же состава, отожженные при различных температурах.

Максимальные значения фактора мощности установлены для фазово неоднородной керамики состава $\text{Ca}_3\text{Co}_{4,2}\text{O}_{9+\delta}$ (246–267 мкВт/(м·К²)) при 800°C, что в 2,1–2,3 раза выше, чем для базового однофазного кобальтита кальция $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_{9+\delta}$, из чего следует, что создание в керамике на основе слоистого кобальтита кальция фазовой неоднородности позволяет значительно улучшить ее термоэлектрические (функциональные) свойства.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Функциональные и композиционные материалы, наноматериалы», подпрограмма «Кристаллические и молекулярные структуры», задание 1.23, а также при поддержке Белорусского

Республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Х14М-145).

УДК 54.165.2+666.265

И.Н. Кандидатова, канд. хим.наук, науч. сотр.;

Л.А. Башкиров, проф., д-р хим.наук (БГТУ, г. Минск)

П.П. Першукевич, ст. науч. сотр., канд. ф.-м.наук

(Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, г. Минск)

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА

ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Tb_xLa_{1-x}In_xO_3$ ($x \leq 0,15$)

Твердофазным методом проведен синтез твердых растворов $Tb_xLa_{1-x}InO_3$ ($x = 0,03; 0,05; 0,07; 0,15$) с кристаллической структурой перовскита. Для этих твердых растворов в Отделе аналитических и спектральных измерений Института физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси получены спектры возбуждения люминесценции и фотолюминесценции, анализ которых проведен в настоящей работе.

Для снятия спектров фотолюминесценции индатов $Tb_xLa_{1-x}InO_3$ ($x = 0,03; 0,05; 0,07; 0,15$) была выбрана длина волн возбуждающего излучения $\lambda_{\text{возб.}} = 320$ нм. В полученных спектрах фотолюминесценции наблюдаются четыре узкие полосы излучения с максимумами при 488 (синяя область видимого спектра), 543 (зеленая область видимого спектра), 589 и 620 нм (красная область видимого спектра). Максимальной интенсивностью люминесценции характеризуется линия излучения с максимумом при 543 нм, расположенная в зеленой области видимого спектра. Полосы излучения обусловлены $f-f$ переходами иона тербия Tb^{3+} в электронной конфигурации $4f^8$.

Из анализа спектров возбуждения люминесценции и спектров фотолюминесценции индатов установлено, что твердые растворы $Tb_{0,07}La_{0,93}InO_3$ и $Tb_{0,15}La_{0,85}InO_3$ обладают наибольшей интенсивностью люминесценции из ряда твердых растворов $Tb_xLa_{1-x}InO_3$ ($x = 0,03; 0,05; 0,07; 0,15$) и являются эффективными фотолюминофорами, излучающими видимый зеленый свет, что делает их перспективными для использования при создании светодиодов белого света.

Проведено легирование твердых растворов с наибольшей интенсивностью фотолюминесценции ионами хрома Cr^{3+} , висмута Bi^{3+} , и исследованы фотолюминесцентные свойства хром- и висмутсодержащих твердых растворов. Интенсивность фотолюминесценции хром- и висмутсодержащих твердых растворов несколько ниже, что можно объяснить тем, что при введении в исходные твердые растворы дополнительно ионов хрома Cr^{3+} , висмута Bi^{3+} , наблюдается тушение люминесценции за счет кросс-релаксационного взаимодействия.

УДК 667.26 + 502.174.1 + 628.54

В.А. Ашуйко, доц., канд. хим. наук;
И.Н. Кандидатова, науч. сотр., канд. хим. наук;
Л.Н. Новикова, доц., канд. хим. наук
(БГТУ, г. Минск)

СИНТЕЗ ФОСФАТНЫХ ПИГМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

В данной работе исследовалась возможность получения фосфатных пигментов из отработанных растворов электролитов никелирования и хромирования. Для получения пигментов использовались отработанные электролиты никелирования и хромирования, раствор фосфата натрия и отработанные растворы ванн обезжиривания.

Осаждение фосфата никеля (II) из отработанного травильного раствора велось при кипячении насыщенным раствором Na_3PO_4 . После охлаждения из раствора выпадает осадок кристаллогидрата $\text{Ni}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Осадок несколько раз промывали, отфильтровывали, высушивали до твердого состояния, после чего измельчали и прокаливали при 960°C . Прокаленный образец растирали в агатовой ступке и просеивали. Никельсодержащие пигменты также получали осаждением никеля отработанным обезжиривающим раствором, содержащим гидроксид, карбонат и фосфат натрия, следовательно, в осадок выпадали гидроксид и фосфат никеля (II). Процессы осаждения проводились при комнатной температуре и перемешивании.

Кристаллогидрат фосфата хрома (III) $\text{CrPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ был осажден раствором Na_3PO_4 из растворов сульфата хрома (III), полученных переработкой отработанных растворов хромирования. Осадок промывали несколько раз декантацией, а затем на фильтре при отделении. Продукт высушивали, измельчали, прокаливали при температуре 860°C , подвергали помолу и просеивали. Было установлено, что в состав пигмента, полученного из отработанного электролита хромирования, входит кристаллический фосфат хрома (III), а также следовые количества примесей неизвестного состава (до 5%).

Для полученных пигментов определялись физико-технические свойства (маслоемкость, рН водных вытяжек, водорастворимость, коррозионная стойкость), а также изучалось влияние полученных пигментов на физико-механических и защитные свойства лакокрасочных покрытий на металлах. Установлено, что синтезированные пигменты могут быть использованы в грунтовках и в грунтэмалях, поскольку они обладают высокими хромофорными и коррозионными свойствами.

УДК 621.357

Н.В. Богомазова, доц., канд. хим. наук; А.С. Степкова, студ.;
А.А. Черник, доц., канд. хим. наук
(БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОГО ПРЕЦИЗИОННОГО ТРАВЛЕНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ АЛЮМИНИЕВЫХ НАНОСТРУКТУР ДЛЯ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

На ОАО «Интеграл» достаточно давно освоена технология жидкокристаллических индикаторов, в которых формирование изображения происходит благодаря управляемой ориентации жидкокристаллических молекул на стеклопластинах, покрытых сегментным электропроводящим покрытием на основе смешанного оксида индия олова и профилированного ориентирующего покрытия на основе полиимидной пленки. Такие структуры обеспечивают достаточно высокую однородность и четкость изображения, а так же длительный срок службы прибора. Однако материал проводящего покрытия редкий и дорогостоящий, а актуальность его использования с каждым днем только растет.

Целью настоящей работы являлось проведение исследований, направленных на разработку альтернативных методов формирования электропроводящих структур для производства жидкокристаллических устройств. Для достижения указанной цели проводились эксперименты по изучению формирования упорядоченной наноразмерной структуры на основе алюминия. Структуры на основе алюминия были сформированы с использованием технологии самоорганизованного роста пористого анодного оксида алюминия при электрохимическом окислении анодного слоя в электролитах, проявляющих определенную химическую активность к Al_2O_3 . При этом окончательное формирование электропроводящей структуры на поверхности стеклянных пластин происходило при химическом удалении оксида алюминия.

Для обеспечения заданного уровня электропроводности и оптической прозрачности ориентирующих алюминиевых структур важно достигнуть определенного упорядочения алюминиевых сегментов на поверхности стеклопластины. Характер и параметры этого упорядочения формируются на этапе анодного окисления алюминия. Важную роль играет последующий процесс вскрытия наноструктур на основе недоокисленного алюминия. При выборе растворов химического травления анодного Al_2O_3 необходимо обеспечить, с одной стороны, селективность травления в отношении вскрываемых алюминиевых сегментов, а с другой стороны, максимально полное удаление диэлек-

трического оксида с поверхности остовных металлических структур. В наших экспериментах опробованы режимы травления Al_2O_3 в травителях на основе фосфорной, азотной и других кислот при температурах от 20 до 80 °С. Финишным объектом исследования являлось профилированное остовное алюминиевое покрытие, образующееся после удаления упорядоченного анодного оксида, который фактически в данной технологии выполняет функцию трафарета топологии целевой алюминиевой структуры. Электросопротивление алюминиевых структур исследовалось двузондовым методом. Спектры оптического пропускания регистрировались в диапазоне длин волн 350-650 нм.

Характер полученных хронометрических кривых травления Al_2O_3 в травителях различного состава позволяет предположить, что наиболее существенными диффузионными ограничениями сопровождается процесс травления в хромово-фосфорнокислом растворе. Именно в этом травителе удалось достичь 20 % уровня проводящих образцов. Установлено, что повышение температуры травления в хромово-фосфорнокислом растворе от 60 °С до 70 °С позволяет понизить электросопротивление вскрываемых поверхности стеклопластин алюминиевых структур от 1 кОм до 200 Ом. Однако разброс значений электросопротивления по поверхности подложек при пониженном сопротивлении исследуемых структур более значителен, что может быть результатом несоответствия характера первичного упорядочения анодного Al_2O_3 и вторичного упорядочения алюминиевой структуры после селективного химического травления. Анализ спектров оптического пропускания полученных структур позволяет констатировать, что повышение температуры травления Al_2O_3 неблагоприятно влияет на прозрачность остовных алюминиевых структур. Наиболее высокий уровень прозрачности порядка 70 % зафиксирован при температуре 60 °С.

Таким образом, можно заключить, что травление анодного Al_2O_3 в растворе 20 мл/л H_3PO_4 + 45 г/л CrO_3 при температуре 60 °С позволяет получать алюминиевые остовные структуры с электросопротивлением порядка 100-500 Ом/□ и оптическим пропусканием в видимом диапазоне порядка 70-80 %.

УДК 640.127. 640.154

Н.Е. Акулич, магистрант; Н.П. Иванова, доц., канд.хим.наук;

И.И. Курило, доц., канд. хим.наук;

И.М. Жарский, проф., канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск)

ИНГИБИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ВАНАДАТОВ МЕТАЛЛОВ

Для защиты металлических изделий от атмосферной коррозии широко используются лакокрасочные покрытия (ЛКП), среди которых наиболее распространенными являются алкидные. Так как традиционно используемые в ЛКП хроматные пигменты являются экологически опасными, то в работе исследованы ингибирующие свойства ванадатов висмута, кальция и цинка ввиду их лучших экологических характеристик.

Пигмент BiVO_4 синтезировали по методике сольвотермического метода путем смешивания растворов ортованадата натрия и кислого раствора нитрата висмута с последующим прокаливанием при 500°C в течение 1 ч; пигмент $\text{Ca}_4\text{V}_2\text{O}_9$ получали спеканием оксидов при 1300°C в течение 10 мин; пигмент $\text{Zn}_3(\text{VO}_4)_2$ – спеканием оксидов при 150°C в течение 1 ч с последующим обжигом при 600°C в течение 6 ч. Порошок $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2$ и смешанный пигмент $\text{Ca}_3(\text{VO}_4)_2 \times \text{BiVO}_4$ в соотношении 1 : 4 получали сольвотермическим методом из водных растворов ортованадата натрия, сульфата кальция и нитрата висмута, затем прокаливали при температуре 70°C в течение 1 ч. Путем снятия потенциостатических поляризационных кривых и измерения стационарного потенциала системы углеродистая сталь 08кп – ЛКП оценивали ингибирующие свойства ванадатов металлов в 3% растворе NaCl и защитную способность пигментированных алкидных ЛКП. Плотность тока коррозии углеродистой стали определяли графически по пересечению прямолинейных участков катодных и анодных поляризационных кривых, построенных в тафелевских координатах, и пересечением значения стационарного потенциала и анодной поляризационной кривой.

Введение порошка $\text{Ca}_4\text{V}_2\text{O}_9$ в 3% NaCl уменьшает ток коррозии стали до $0,28 \text{ mA/cm}^2$, с пигментом $\text{Zn}_3(\text{VO}_4)_2$ ток коррозии стали становится равным $0,43 \text{ mA/cm}^2$. Углеродистая сталь в суспензии с BiVO_4 , прокаленным при 500°C , корродирует со скоростью $0,03 \text{ mA/cm}^2$. Ортованадат висмута обладает высокой дисперсностью $10\text{--}0,5 \text{ мкм}^{-1}$. Его укрывистость составляет $0,803 \text{ г/см}^3$, маслосъемность первого рода – 14 г/100 г , что характерно для большинства пигментов, применяемых в лакокрасочной промышленности. Исследование защитной способности алкидных ЛКП с пигментом BiVO_4 показало, что токи коррозии углеродистой стали 08кп уменьшаются от 20 до 200 раз.

УДК 628.38

В. Н. Марцуль, канд. техн. наук, доц.; Н. И. Шепелева, асп.
(БГТУ, г. Минск)

СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСАДКОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАНАЛИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Одной из наиболее сложных проблем, связанных с эксплуатацией очистных сооружений биологической очистки является использование и обезвреживание образующихся осадков сточных вод. В настоящее время в Республике Беларусь осадки сточных вод, как правило, не используются, а направляются на иловые карты.

Наиболее распространёнными направлениями использования осадков сточных вод в мировой практике являются: внесение в почву в качестве удобрения и применение для рекультивации нарушенных земель, выработки энергии и др.

Для выбора наилучшего варианта обращения с осадками необходимо проводить детальный эколого-экономический анализ. В Республике Беларусь методики оценки эколого-экономической эффективности природоохранных мероприятий не носят комплексного характера.

В развитых странах широко используется методология, позволяющая провести комплексный анализ продукции и производственных процессов, использования ресурсов и отходов с учётом экологических последствий – анализ жизненного цикла (АЖЦ).

Особенностью такого анализа является ориентация на количественную оценку широкого диапазона воздействий на окружающую среду, связанных как с потреблением всех видов ресурсов, использованием отходов, так и с эмиссией загрязняющих веществ, которой сопровождается протекание данных процессов.

АЖЦ использует статистическую информацию о материальных и энергетических потоках для оценки общего объема выбросов, сбросов и отходов по всей цепочке технологического цикла.

В настоящее время на кафедре промышленной экологии проводится сравнение вариантов обращения с осадками сточных вод на основе методики АЖЦ. Рассмотрены сценарии обработки осадков сточных вод, включающие процессы сгущения, обезвоживания, стабилизации, известкования, сушки, компостирования и сжигания. Обобщена информация о воздействии на окружающую среду, оказываемом на каждой стадии исследуемых процессов.

УДК 628.355

Р.М. Маркевич, канд. хим. наук., доц.;
О.С. Дубовик, асп. (БГТУ, г. Минск)

ДИНАМИКА ТРАНСФОРМАЦИИ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА КАСКАДНОЙ ДЕНИТРИФИКАЦИИ

В биореакторах второй очереди Минской станции аэрации (МОС-2) для удаления азота из сточных вод предусмотрен технологический режим каскадной денитрификации. Преимуществами этого режима являются невысокие энергетические затраты из-за отсутствия нитратного рецикла, высокие концентрации ила и субстрата в первых каскадах и, как следствие, высокие скорости очистки, наличие субстрата для денитрификации при распределенной подаче сточных вод. Вместе с тем, строительство сооружений с каскадной денитрификацией требует высоких капитальных затрат, поскольку коэффициент эффективности денитрификации определяется количеством каскадов. В таком сооружении формируется смешанный биоценоз активного ила, что несколько снижает скорость очистки. Кроме того, в данном случае проблематично обеспечить условия (чередование анаэробных и аэробных зон) для биологического удаления фосфора.

Цель настоящего исследования заключалась в изучении динамики трансформации соединений азота и удаления из сточных вод фосфора фосфатного в ходе перемещения иловой смеси по зонам биореактора МОС-2. На данном этапе эксперимента весь поток сточных вод из первичных отстойников поступал в анаэробный резервуар, где смешивался с рециркуляционным активным илом.

Установлено, что содержание аммонийного азота снижается в зонах нитрификации №1, №2 и №3 на 2,7, 3,1 4,7 мг/дм³ соответственно. Существенного прироста биомассы активного ила при этом не наблюдается, следовательно, в основном происходит нитрификация аммонийного азота. Уменьшение содержания нитратного азота на 3,1 мг/дм³ зафиксировано только в зоне денитрификации №2, в зонах денитрификации №1 и №3 денитрификация не протекает. Удаление из сточных вод фосфора фосфатного происходит в основном в зоне нитрификации №1. В зоне денитрификации №2 зафиксировано некоторое высвобождение фосфора из биомассы вследствие ее разрушения. При реализации вышеприведенного технологического режима условия для денитрификации созданы в анаэробном резервуаре биореактора, поэтому в денитрификаторе №1 низкое содержание нитратов. В денитрификаторе №3 отсутствует легкодоступный субстрат.

УДК 628.3

Н.С. Черкес, маг. техн. наук, ассист.; О.А. Самстыко, ассист.
(БГТУ, г. Минск)

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Проблема очистки сточных вод образующихся после гидротермической обработки древесины на деревообрабатывающих предприятиях является актуальной. В процессе гидротермической обработки происходит термодеструкция древесной массы, в результате которой в воду переходят продукты деструкции древесины, экстрактивные вещества, а также кусочки коры, веток и ряд других веществ.

Стоки после гидротермической обработки древесины отводятся в городские канализационные сети, однако чаще сброс загрязненной воды осуществляется непосредственно в близлежащие реки по кратчайшему пути без предварительного усреднения и разбавления.

В настоящее время требования к составу отводимых сточных вод ужесточились, и связано это с накоплением информации о негативном воздействии стоков на компоненты окружающей среды.

Существует множество способов очистки, которые можно применить для обезвреживания загрязненной воды от гидротермической обработки древесины. Обобщая опыт иностранных деревообрабатывающих предприятий при разработке проекта системы очистки сточных вод гидротермической обработки древесины целесообразно сочетать предварительную очистку стоков от взвешенных веществ и биологическую очистку от органических веществ. Для интенсификации отделения взвешенных веществ широко применяют такие реагенты как сульфат алюминия и полиакриламид. Подбор реагентов и их доз целесообразно осуществлять путем проведения пробного коагулирования загрязненной воды конкретного объекта, так как стоки после гидротермической обработки древесины на деревообрабатывающих предприятиях заметно отличаются качественным и количественным составом. Критериями, которые следует учитывать при разработке системы очистки являются капитальные и эксплуатационные затраты, отсутствие или минимальная возможность вторичного загрязнения, количество обслуживающего персонала, срок эксплуатации и др.

Результаты аналитической работы могут быть использованы при обосновании и проектировании системы очистки сточных вод гидротермической обработки древесины для деревообрабатывающих предприятий Республики Беларусь на договорной основе.

УДК 628.316.12:625.87

Е.Г. Сапон, асп.; В.Н. Марцуль, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФОСФАТОВ

Фосфор – один из питательных элементов необходимых для всех живых организмов. Однако избыточное поступление фосфора в водотоки и водоемы становится причиной «цветения» водных объектов и снижения качества воды.

Для малых очистных сооружений целесообразным является использование сорбционных материалов. В последнее время международные исследования, в области очистки сточных вод от фосфатов на малых очистных сооружениях, сконцентрированы на поиске недорогих недефицитных фильтрационных материалов, с высокой способностью связывать фосфаты на своей поверхности. Исследован широкий диапазон фильтрационных материалов, включая природные минералы, отходы производства и промышленные сорбенты с целью оценить их сорбционную способность по фосфатам. Среди данных материалов можно выделить электросталеплавильный шлак (ЭСПШ), обладающий свойством фиксировать фосфор в значительном количестве.

Целью работы было исследовать возможность использования ЭСПШ Белорусского металлургического завода. Объектом исследования был ЭСПШ – отход сталеплавильного производства четвертого класса опасности, с годовым объёмом образования около 600 тыс. т. В связи с этим ЭСПШ длительное время хранится в шлакохранилищах, оказывая отрицательное воздействие на окружающую среду.

В работе исследовали химический и фазовый состав шлака. Установлено, что в составе шлака преобладают оксиды Ca, Si, Fe и Al. Показано, что для фракции с размерами частиц более 5 мм составы внешней и внутренней поверхности значительно отличается соотношением оксидов Ca и Fe. Фазовый состав шлака характеризуется наличием таких соединений как: Ca_2SiO_4 , FeO, SiO_2 , $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSi})\text{O}_7$ и $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$, $\text{MnO}_{0,43}\text{Fe}_{2,57}\text{O}_4$. Отличительной особенностью фракций размером до 5 мм $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$, CaCO_3 и $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$.

Кальциевые и железосодержащие соединения шлака способны растворяться в воде и образовывать с фосфатами нерастворимые соединения. Таким образом, элементный и фазовый состав шлака БМЗ свидетельствует о возможности использования его в качестве эффективного сорбента фосфатов.

УДК 661.183.129

А. В. Дубина, ассист. (БГТУ, Минск)

**ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА
СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ КАРБА-
МИДОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ
ОТ ФОРМАЛЬДЕГИДА**

Для деревообрабатывающих предприятий одной из проблем является очистка сточных вод, которые содержат продукты конденсации карбамида и формальдегида и свободный формальдегид.

Сточные воды, образующиеся после промывки технологического оборудования используемого для приготовления клеевых составов из карбамидоформальдегидной смолы характеризуются концентрацией формальдегида – 1–5 г/дм³, ХПК жидкой фазы– 15000–60000 мг О₂/дм³, содержанием компонентов КФС – 50-80 г/дм³.

Проведенные ранее исследования позволили установить параметры, при которых из сточных вод, практически полностью удаляются водорастворимые компоненты карбамидоформальдегидной смолы за счет перевода их в нерастворимое состояние. Концентрация формальдегида в сточной воде, очищенной от растворенных компонентов КФС, составляет 70–150 мг/дм³, ХПК до 2000 мг О₂/дм³.

Экспериментально апробированы различные способы очистки сточных вод от формальдегида (сорбция, химическое и электрохимическое окисление, фотокатализ).

Цель работы – исследование эффективности использования фотокатализа для доочистки формальдегидсодержащих сточных вод.

Объект исследования – сточные воды, образующиеся после предварительного удаления из сточных вод водорастворимых компонентов КФС.

Источником ультрафиолетового излучения служила ртутно-кварцевая лампа ДРТ-400 излучающая в диапазоне 240–320 нм. В качестве катализатора применялся материал состоящий из (в пересчете на оксиды (масс.%)): SiO₂ – 68, TiO₂ – 29, H₂O – 3. Удельная поверхность 150 м²/г. Катализатор вносился в реактор в виде водной суспензии.

В работе получены зависимости характеризующие влияние различных факторов на эффективность процессов фотокатализа формальдегида. Показано, что деструкция формальдегида – сложный многостадийный процесс, идущий по радикальному механизму. Установлено, что при фотокатализе наибольшая скорость разрушения формальдегида достигается в щелочной среде и составляет 70%.

УДК 547.466.3:661.7

Т.А. Жарская, канд. техн. наук, доц.; Т.С. Коротченя, студ.
(БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КУБОВОГО ОСТАТКА ДИСТИЛЛЯЦИИ КАПРОЛАКТАМА В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Кубовый остаток дистилляции капролактама (КОДК) получается при перегонке капролактама для очистки его от примесей, состоит в основном, из капролактама и его олигомеров, относится к отходам 3-го класса опасности и в настоящее время в Республике Беларусь не используется, а подвергается огневому обезвреживанию. В тоже время проведенные патентные исследования показали, что его можно рассматривать как ценное вторичное сырье для других отраслей промышленности, например, при производстве строительных материалов.

Целью данной работы явилось определение возможности использования добавки (КОДК) в составе цементного раствора для увеличения его прочности, и в составе покрытия, снижающего водопоглощение, для бетона.

Все составы цементных растворов с добавками готовились на основе исходного, в котором, для сохранения его качеств, цементно-песчаное отношение сохранялось $1/3$, а водоцементное отношение – $0,6$. Образцы набирали прочность во влажной атмосфере в течении 28 суток.

Исследовали зависимость прочности цементных растворов от вида и количества вводимых добавок. Содержание добавок рассчитывалось, исходя из количества в нем цемента, и изменялось в интервале $0,05 - 0,50$ % масс.

Исследования показали, что с повышением содержания КОДК прочность образцов на сжатие, возрастает, достигая $20,66$ МПа при $0,4\%$. Результаты исследования влияния рассматриваемых добавок на водопоглощение бетонных образцов показали также положительный результат. Таким образом, проведенные исследования показали целесообразность продолжения исследований по использованию кубового остатка дистилляции капролактама в качестве компонента добавки для бетонной смеси и составляющего композиции для покрытия бетона.

УДК 628.23: [549.67+665.64.097.3]

И.Ю. Козловская, ассист.; В.П. Капориков, ст. преп.;
А.В. Киркора, студ. ikozlowskaya.inna@belstu.by
(БГТУ, г. Минск)

СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИМИ ОТХОДАМИ

Сорбционные материалы находят широкое применение в технологии очистки сточных вод. В частности, широкое распространение в качестве сорбентов получили природные и синтетические цеолиты, которые импортируются в Республику Беларусь. Интерес представляет использование в качестве сорбционных материалов цеолитсодержащих отходов, к которым относится отработанный катализатор крекинга (ОКК), с содержанием цеолита до 40 %.

В качестве объекта исследования использовали ОКК, образующийся при периодической замене катализатора крекинга (партия 1), при истирании частиц катализатора крекинга и уловленный на электрофилт্রে (партия_2). Размер частиц для первой партии составляет 5–100 мкм, для второй – 5 и менее мкм.

Установлено, что полная статическая обменная емкость по ионам железа (III) для различных партий ОКК изменяется от $0,87 \pm 0,05$ мг-экв/г до $1,1 \pm 0,05$ мг-экв/г. Кислотная обработка раствором азотной кислоты приводит к увеличению сорбционной емкости обеих партий ОКК на 40% (до $1,4$ – $1,8 \pm 0,05$ мг-экв/г) за счет образования новых активных центров, повышения доступности цеолита для сорбируемых ионов.

Учитывая высокую дисперсность ОКК, при его использовании возможно вторичное загрязнение воды частицами катализатора. Значение гидравлической крупности ОКК первой партии (гидравлическая крупность равна 0,9 мм/с), свидетельствует о высокой скорости его седиментации и возможности отделения от очищенной воды без внесения дополнительных реагентов.

Для ОКК, имеющего размер частиц 5 и менее мкм, значение гидравлической крупности мало (около 0,1 мм/с), поэтому разделение суспензии ОКК целесообразно проводить с использованием флокулянтов. Внесение сильно катионного флокулянта Zetag 8180 с дозой $0,6$ мг/дм³ позволяет повысить скорость седиментации ОКК в три раза.

УДК 504.064.47: 628.386

О.С. Залыгина, доц., канд. техн. наук; В.И. Чепрасова, асп.
(БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОСАЖДЕНИЯ ХРОМА ИЗ ОТРАБОТАННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ХРОМИРОВАНИЯ

В настоящее время во многих отраслях промышленности широко используются различные гальванические покрытия, Одним из наиболее распространенных гальванических покрытий является хромовое. Электроосаждение хрома производится из электролита, содержащего в качестве основного компонента хромовый ангидрид, водный раствор которого представляет собой смесь хромовой, дихромовой и, возможно, других кислот, которые диссоциируют с образованием ионов шестивалентного хрома. Периодически электролиты хромирования, как и другие, требуют замены вследствие их загрязнения. На большинстве предприятий сброс отработанных электролитов осуществляется совместно с промывными сточными водами, что приводит к залповому повышению концентрации ионов тяжелых металлов в них и затрудняет работу очистных сооружений.

Поэтому целью работы является изучение процессов осаждения хрома из отработанных электролитов хромирования, что позволит не только предотвратить сброс высококонцентрированных отработанных электролитов и стабилизировать работу очистных сооружений гальванических производств, но и получить на основе образующихся осадков, содержащих хромофорные элементы, товарную продукцию – пигменты.

В работе были определены наилучшие условия осаждения хрома из отработанных электролитов хромирования различных белорусских предприятий. Установлено, что предпочтительно предварительное восстановление шестивалентного хрома до трехвалентного с последующим осаждением Cr^{3+} . В качестве восстановителя предложено использовать сульфит натрия Na_2SO_3 при $\text{pH}=1$, в качестве осаждающего раствора – отработанный раствор обезжиривания того же гальванического производства, в состав которого входят гидроксид-, фосфат- и карбонат-ионы, которые могут участвовать в осаждении хрома. Было установлено, что хром осаждается в виде фосфата, выход осадка колеблется от 320 до 850 г на 1 л отработанного электролита хромирования, остаточная концентрация хрома (VI) в фильтрате составляет от 10 до 14 г/л. Полученный осадок имеет зеленый цвет и в дальнейшем может быть использован для получения пигмента.

УДК 628.31

О.А. Самстыко, ассист.; Н.С. Черкес, ассист.;
Е.Н. Кунцевич, студ.
(БГТУ, г. Минск)

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ
ОРГАНИЗАЦИИ ВОДООТВЕДЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА
ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ
СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ**

Получение термомеханической массы – одна из наиболее ответственных операций в производстве МДФ-плит. Этой стадии предшествует пропарка щепы, в результате чего образуются сильнозагрязненные сточные воды. По экспериментальным данным сточные воды от установок размола древесины содержат до 11000 мг/л загрязнений, из них больше половины - взвешенных веществ.

Традиционные методы (физико-химическая и биологическая очистка) даже при совместном использовании позволяют в лучшем случае добиться степени очистки, обеспечивающей требования к сбросу сточных вод в городскую канализацию.

Необходим принципиально новый подход к решению этой проблемы, который позволил бы исключить образование стоков на рассматриваемой стадии производства. Реализация такого подхода возможна только в случае получения очищенной воды, состав которой позволил бы использовать ее для получения пара, подаваемого на пропарку. Достигнуть такой степени очистки можно, применяя мембранные технологии очистки, в частности обратный осмос.

Задачей исследований было определение параметров очистки от взвешенных и коллоидных примесей. Экспериментально установлено, что наилучшие результаты очистки достигаются при использовании катионоактивного флокулянта «Праестол» с последующим фильтрованием через полимерный материал. Показано, что такая предварительная обработка сточных вод может предшествовать мембранной очистке.

Таким образом, реализация такого подхода позволила бы решить проблему обращения с сильнозагрязненными сточными водами и вернуть в производство фактически обессоленную воду. Кроме того, предлагаемая технология дает возможность использовать извлеченные из сточной воды компоненты древесинного вещества для приготовления связующего, использовать отходы, образующиеся в процессе обработки для получения тепловой энергии.

ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ КОНДИЦИОНИРУЮЩИХ АГЕНТОВ

При биологической очистке городских сточных вод образуется большое количество осадков. На долю избыточного активного ила приходится 60 – 70% образующихся осадков. Влажность избыточного активного ила в зависимости от принятой схемы обработки составляет 96 – 99,7%. Поэтому использование таких осадков без предварительной обработки проблематично.

Объектом исследования являлся избыточный активный ил, отобранный после илоуплотнителя на Минской станции аэрации. В ходе эксперимента к избыточному активному илу добавлялись следующие добавки: сточная вода от промывки оборудования деревообрабатывающего производства, содержащая остатки карбамидоформальдегидных смол; отработанный катализатор крекинга (ОКК) нефтепродуктов; железосодержащий отход водоподготовки; недопал извести; трепел; отработанный измельченный анионит АВ-17; лигносульфонаты.

По результатам проведенных опытов можно сделать следующие выводы:

– обработка избыточного активного ила сточной водой деревообрабатывающего производства, отработанным катализатором крекинга нефти, железосодержащим отходом водоподготовки, лигносульфонатами и недопалом извести будет нецелесообразной;

– обработка осадка трепелом уменьшила удельное сопротивление осадка на 63,45 и 71,28% и увеличила скорость фильтрования, однако применялись большие дозировки 2 и 3 г на 100 см³, обладая сорбционными свойствами трепел способен сорбировать тяжелые металлы, уменьшая их подвижность и миграцию в растения;

– наилучшие результаты были получены при использовании измельченного анионита. Его применение способствует образованию флокул и изменению структуры обрабатываемого осадка, что увеличивает водоотдающие свойства осадка. Дозирование анионита привело к значительному уменьшению удельного сопротивления осадка (до 97%) и увеличению скорости фильтрования осадка. Благодаря этому отработанный измельченный анионитом осадок можно подвергать механическому обезвоживанию. Применение измельченного анионита в качестве кондиционирующего агента позволит заменить используемые дорогостоящие полиэлектролиты.

УДК 628.386

М.А. Лисинецкая, магистрант;

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

НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ РАСТВОРОВ ТРАВЛЕНИЯ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

В процессе удаления с поверхности металлов окалины, ржавчины и оксидных пленок способность травильных растворов протравливать новые партии металлов падает, т.к. в них концентрация кислоты снижается и происходит накопление солей железа. Периодичность замены отработанных травильных растворов – один раз в 5-20 суток.

Отработанные травильные растворы можно перерабатывать с получением: коагулянта, железного купороса, сорбента, пигментов, вяжущих материалов, мелиорантов и других товарных продуктов. В Республике Беларусь только на Белорусском металлургическом заводе отработанные травильные растворы перерабатывают с получением железного купороса.

Отработанные травильные растворы, образующиеся на разных предприятиях, имеют различный состав. Поэтому чтобы получать пигменты одинакового качества, мы проводили предварительную корректировку отработанных травильных с использованием железных стружек. Скорректированный раствор использовали для получения пигментов желтого, оранжевого, красного, коричневого и черного цветов.

Свойства полученных пигментов определяли по следующим показателям: укрупнистость, рН водной суспензии, маслосъемкость, массовая доля веществ, растворимых в воде. Полученные железнооксидные пигменты соответствовали техническим требованиям.

Другое направление использования отработанных травильных растворов это получение мелиорантов на основе торфа, отхода образующегося при гидролизе торфа и их смеси. Было установлено, что для получения мелиорантов пригодны не любые отработанные травильные растворы, а только содержащие уротропин.

Для оценки качества полученного мелиоранта его вносили в почву и производили посадку семян пшеницы и кукурузы. Эффективность использования мелиоранта оценивали по следующим показателям: рост биомассы, состояние корневой системы и листовой части, содержание железа в растениях и в почве.

Полученные мелиоранты позволяют укреплять и развивать корневую систему, поэтому можно рекомендовать их использовать на почвах подверженных эрозии и другим фактором деградации.

УДК 631.811; 66.022.372.07

З.В. Буко, магистрант; А.В. Лихачева, кант. техн. наук, доц.
(БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ НЕГИДРОЛИЗУЕМЫХ ОСТАТКОВ ТОРФА

Одним из направлений развития сорбционных методов очистки сточных вод является исследование способов удешевления сорбционных материалов, увеличение их сорбционной емкости, а также разработка методов регенерации отработанных сорбентов. Перспективным является применение в качестве сорбционных материалов отходов производства.

На торфоперерабатывающих предприятиях в процессе гидролиза торфа образуется НГО, который в настоящее время не используется и является отходом производства. Он обладает сорбционными свойствами, т.к. содержит -ОН и -СООН функциональные группы.

В работе использовали НГО верхового типа, образующийся в процессе извлечения гуминовых веществ из торфа. Влажность НГО составляла 90,9%, зольность – 19,7% и содержание карбоксильных групп и фенольных гидроксидов – 3,99 мг-экв/г.

Исследования процессов сорбции ионов железа негидролизующим остатком торфа проводили при рН = 5, бихромат-ионов – при рН = 2, ионов меди и никеля – при рН = 6-6,5. Для определения предельных значений СОЕ были проведены исследования изменения емкости НГО в зависимости от различной концентрации металла в растворе.

Результаты исследований показали, что наибольшая СОЕ НГО наблюдается по ионам никеля и составляет 0,89 мг-экв/г. СОЕ по ионам железа и меди составляет 0,26 и 0,34 мг-экв/г соответственно. Было установлено, что НГО характеризуется низкой степенью извлечения бихромат-ионов – СОЕ - 0,36 мкг-экв/г.

Для увеличения СОЕ остаток обрабатывали пероксидом водорода, поверхностно-активными веществами и/или ультразвуком.

Из полученных данных видно, что обработка НГО оказывает существенное влияние на величину СОЕ по ионам никеля и меди, и незначительно влияет на величину сорбционной емкости по ионам железа и хрома.

Вторая проблема, которая решалась при проведении исследований – это поиск путей использования отработанного сорбента. Нами были выполнены исследования по результатам которых был сделан вывод, что отработанный сорбент, содержащий соединения железа, нельзя использовать в качестве мелиоранта. Работа по поиску направлений использования отработанных сорбентов будет продолжена.

УДК 628.3.034.2:677.027.42

Л.А. Шибека, доц., канд. хим. наук, shibekal@mail.ru
(БГТУ, г. Минск)

СОРБЦИОННЫЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ КРАСИТЕЛЕЙ

Выбор метода очистки сточных вод от красителей является сложной задачей, стоящей перед красильно-отделочными предприятиями. Это обусловлено сложным составом образующихся стоков и неравномерностью их поступления на очистные сооружения. В настоящее время для очистки указанных сточных вод чаще всего используют комбинированные системы, включающие совокупность локальных очистных установок обезвреживания отдельных потоков с последующей доочисткой стоков.

Целью работы являлся сравнительный анализ эффективности применения сорбционных и электрохимических методов очистки сточных вод от красителей. Исследования проводились на модельных сточных водах, содержащих краситель Найлозан бирюзовый F-5G. В качестве сорбционных материалов выступали предварительно измельченные отработанные иониты (катионит КУ-2 и анионит АВ-17) и полиэлектролитные комплексы, образованные путем смешения раствора лигносульфонатов натрия и измельченного анионита. В качестве электрохимических способов очистки сточных вод применяли методы электрокоагуляции и электродеструкции. Время обработки модельных сточных вод составляло 10 минут. Плотность тока – 70 А/м². Об эффективности очистки стоков судили по изменению величины оптической плотности раствора до и после обработки.

Установлено, что наибольшая степень очистки сточных вод от красителя наблюдается при использовании процесса электродеструкции – 96,9%. Высокая эффективность очистки характерна также при применении процесса электрокоагуляции с алюминиевыми электродами (91,2%) и несколько ниже при использовании железных электродов – 87,7%.

Изучение сорбционных свойств материалов показало, что наибольшей степенью очистки (94,1%) характеризуется проба, в которую добавили навеску анионита. Степень очистки сточных вод около 87 % характерна для проб, с добавлением катионита и анионита в массовых соотношениях 1:2, 1:3 и 1:4, и 84,6 % – при добавлении в пробу полиэлектролитного комплекса, образованного анионитом и лигносульфонатами натрия, смешанными в соотношении 4:1.

Полученные результаты могут найти применение на практике при очистке сточных вод от красителей.

УДК 536.2:519.6

А. А. Андрижиевский, проф., д-р техн. наук
(БГТУ, г. Минск);

А. Г. Лукашевич, канд. техн. наук
(ОИЭЯИ - Сосны НАН Беларуси, г. Минск)

МЕТОД АНАЛИЗА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООБМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

В работе представлен базовый программный комплекс метода экспертного анализа теплотехнических характеристик промышленных образцов поверхностей теплообмена сложной формы. В состав данного программного комплекса входят следующие структурные элементы:

- модельный блок анализа трубчатых поверхностей теплообмена, включая модуль анализа параметров биметаллических поверхностей теплообмена на основе 2-D и 3-D моделей и модуль анализа параметров гладких трубчатых поверхностей теплообмена в составе водонагревательных теплообменников и теплообменников-охладителей;

- модельный блок анализа пластинчатых теплообменников, включая модуль анализа на основе интегральной модели и модуль анализа на основе 2-D модели пластинчатого теплообменника;

- модельный блок анализа процессов переноса в системах «сухого» пристанционного хранения отработанного ядерного топлива (ОЯТ), включая модули анализа на основе 2-D модельных представлений пенала хранения ОЯТ и контейнерного хранилища ОЯТ;

- модельный блок анализа процессов переноса в системах «мокрого» пристанционного хранения ОЯТ, включая модули анализа на основе 2-D моделирования приповерхностного конвективного охлаждения бассейна с ОЯТ и 3-D моделирования принудительной циркуляции охлаждающей воды в бассейне с ОЯТ;

- информационно-аналитическая база данных, включая теплофизические свойства рабочих тел и конструктивных материалов: классификацию и конструктивные особенности теплообменных устройств; методы анализа и оптимизации теплотехнических параметров теплообменных устройств.

Использование данного программного комплекса позволит повысить достоверность интегральных методов обобщения результатов испытаний промышленных теплообменных устройств и, тем самым, сократить затраты и время их внедрения на энергетический рынок Беларуси.

УДК 621.5:519.6

А. А. Андрижиевский, проф., д-р техн. наук;

А. Г. Андрижиевский, проф., д-р техн. наук (БГТУ, г. Минск)

Л. С. Кулик (ОИЭЯИ - Сосны НАН Беларуси, г. Минск)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПАССИВНОЙ СИСТЕМЫ
ОТВОДА ТЕПЛА ИЗ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ АЭС
В РЕЖИМЕ ТЕРМОКОНВЕКЦИИ**

В рамках формализованных шаблонов программного пакета COMSOLMultiphysics разработан модельный аналог системы пассивного отвода тепла от защитной оболочки АЭС.

Модель описания процессов переноса строится на решении систем нестационарных пространственных уравнений сохранения количества движения, массы и тепловой энергии. Дополнительно рассматривается уравнение сохранения массы паровой фазы над зеркалом испарения (для расчета теплового потока вследствие испарения).

Интегральный тепловой поток через поверхность раздела фаз в приближении метода приведенной пленки принимался равным сумме тепловых потоков вследствие термоконтвекции и испарения.

Для численной реализации модельного аналога системы пассивного отвода тепла использовался метод конечных элементов в интерпретации системы COMSOLMultiphysics. В связи с большим числом расчетных ячеек, теплообменник-конденсатор системы пассивного отвода тепла от защитной оболочки в расчетах представлен в виде плоских поверхностей.

В вычислительном эксперименте решалась нестационарная задача на установление.

По результатам вычислительного эксперимента получено, что теплообменник-конденсатор системы пассивного отвода тепла от защитной оболочки АЭС работает в импульсном режиме. Временные интервалы изменения расхода теплоносителя составляют $\sim 150-200$ с, что согласуется с экспериментальными данными ЦКТИ (Центральный котлотурбинный институт, Россия). Получены значения удельных тепловых потоков, которые в условиях вычислительного эксперимента имели значения от 2 до 5 кВт/м².

УДК 621.57

В.И. Володин, проф., д-р техн. наук; С.О. Филатов, ассист.
(БГТУ, г. Минск)

ТЕНДЕНЦИИ И НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

За рубежом тепловые насосы широко применяются в системах отопления и горячего водоснабжения. Проведен анализ использования тепловых насосов в системах теплоснабжения в Европе с использованием в качестве первичного источника энергии теплоты окружающей среды: атмосферного воздуха, грунта и водных источников. Их продажи ежегодно возрастают. В 21 стране Евросоюза в 2013 году продано 769879 тепловых насосов, а эксплуатируется – 6741251.

В странах с мягким климатом широко применяются тепловые насосы воздух-воздух и воздух-вода. Их доля на европейском рынке соответственно составила 35 и 36%. Доля геотермальных тепловых насосов – 20%. Максимальная энергетическая эффективность достигается при использовании низкотемпературных потребителей теплоты, например, напольной системы отопления. Прогнозируемый сезонный коэффициент энергоэффективности использования тепловых насосов в климатических зонах близких Беларуси составляет 2,9–3,2.

В условиях плотной городской застройки и с учетом климатических особенностей, когда амплитуда температуры атмосферного воздуха составляет значительную величину, целесообразным является применение грунтовых теплонасосных систем теплоснабжения с вертикальным расположением утилизационной теплообменной поверхности. Такое направление интенсивно развивается в Великобритании, где количество внедренных энергетических свай с 2005 по 2012 год возросло более чем в 30 раз.

Почти 90% тепловых насосов имеют теплопроизводительность 4–20 кВт и устанавливаются в индивидуальных жилых домах. В многоквартирных домах их мощность составляет 20–50 кВт. На коммерческом уровне в общественных зданиях установленная мощность составляет от 20 кВт до 1 МВт.

Дополнительным важным фактором для использования тепловых насосов является то, что они уменьшают количество традиционных источников тепла, использующих топливо, и способствуют снижению поступления парниковых газов в атмосферу. Из проведенного анализа следует перспективность использования теплонасосных систем теплоснабжения в Беларуси.

УДК 621.57

В.И. Володин, проф., д-р техн. наук;
В.Б. Кунтыш, проф., д-р техн. наук; С.О. Филатов, ассист.
(БГТУ, г. Минск)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ВОЗДУХ-ВОЗДУХ

В работе на основе модифицированного метода анализа [1] приводятся результаты моделирования работы пароконденсаторных тепловых насосов воздух-воздух. Первоначально для номинального режима теплопроизводительностью 10,5 кВт проводилось численное проектирование основных теплообменных аппаратов: испарителя и конденсатора с поверхностью теплообмена минимальной массы из биметаллических ребристых труб с оптимальными параметрами ребрения при ограничениях на потери давления.

Получено распределение потерь давления в контуре теплового насоса со стороны рабочего вещества по основным и вспомогательным теплообменным аппаратам. Наибольшие потери наблюдаются в испарителе и соответствуют максимально допустимым.

В дальнейшем проводился анализ работы теплового насоса в нерасчетных режимах при изменении температуры атмосферного воздуха, который являлся источником низкопотенциальной теплоты.

На основании проведенного анализа сделаны следующие выводы:

– основное влияние на энергетическое совершенство теплового насоса оказывают необратимые потери и температура атмосферного воздуха. Определяющими являются потери в испарителе. При низких температурах воздуха требуется резервный источник теплоты;

– выбор теплового насоса для каждого конкретного случая их использования должен проводиться на основании комплексного сравнительного анализа и оптимального проектирования. Такой подход позволяет выбрать тепловой насос с наилучшими энергетическими показателями;

– разработанный метод энергетического анализа, проиллюстрированный на примере теплового насоса воздух-воздух, может применяться с предварительной адаптацией и для других типов тепловых насосов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Володин, В.И. Комплексный подход к расчету параметров компрессионной холодильной машины // Холодильная техника. – 1998. – № 2 – С. 8–10.

УДК 536.24

В.Б. Кунтыш, проф., д-р техн. наук;
А.Б. Сухоцкий, доц., канд. техн. наук;
(БГТУ, г. Минск)

А. Э. Пиир проф., д-р техн. наук;
(САФУ им М. В. Ломоносова, г. Архангельск)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРИМЕНЕНИЯ ВИХРЕВОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ
КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА КРУГЛОЙ ТРУБЫ
В ПРОДОЛЬНОМ ПОТОКЕ ВОЗДУХА**

Исследование энергетической эффективности выполнено по методике Антуфьева, базирующейся на энергетическом коэффициенте Кирпичева. Способ вихревой интенсификации теплообмена технически реализуется нанесением на поверхности гладкой трубы углублений (выемок) цилиндрической, конической, сферической, овальной и иных форм [1]. Такой прием получил общее название – «облунение» трубы. Плотность расположения углублений изменяется от 6 до 70%. При большой величине плотности углублений и соответствующих геометрических параметрах лунок возможен рост теплоотдающей поверхности трубы до 2,7 раз. Этим фактом нельзя пренебрегать при оценке тепловой эффективности трубы.

В продольном потоке воздуха энергетически целесообразнее применять облунение наружной поверхности круглой трубы, что увеличивает коэффициент теплоотдачи в 1,23–1,39 раза при одинаковой затрате мощности на прокачку потока. Облунение внутренней поверхности повышает тепловую эффективность трубы не более, чем на 15%. Механизм вихревой интенсификации теплообмена отличается от природы интенсификации теплообмена применением предельной и дискретной шероховатости. Учет входных и выходных потерь давления потока снижает коэффициент тепловой эффективности круглой трубы с продольным внутренним течением на 30%. Это необходимо учитывать при сравнительной оценке тепловой эффективности продольного течения с внешним поперечным обтеканием пучка труб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Халатов, А. А. Тепломассообмен и теплогидравлическая эффективность вихревых и закрученных потоков / А. А. Халатов, И. И. Борисов, С. В. Шевцов. – Киев: Институт технической теплофизики Украины, 2005. – 500 с.

УДК 536.24

В.Б. Кунтыш, проф., д-р техн. наук;
 А.Б. Сухоцкий, доц., канд. техн. наук;
 В. Н. Фарафонов, доц., канд. техн. наук
 (БГТУ, г. Минск)

ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПУЧКА КРУГЛЫХ ТРУБ С ОБЛУНЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ В ПОПЕРЕЧНОМ ПОТОКЕ ВОЗДУХА

Поперечное обтекание гладкотрубных пучков более эффективно по сравнению с продольным течением воздуха внутри трубы во всем интервале изменения числа $Re = (3-700) \cdot 10^3$. Тепловая эффективность шахматных пучков при одинаковой затрате мощности $N_0 = idem$ на прокачку воздуха на 10–13% выше коридорных. В интервале $Re = (3-10) \cdot 10^3$ коэффициент теплоотдачи шахматного пучка при внешнем обтекании превышает в 5,0–2,1 раза, при $Re = 500 \cdot 10^3$ – в 1,49 раза теплоотдачу при внутреннем продольном течении.

Облунение наружной поверхности труб сферическими выемками глубиной 0,25 мм с диаметром 2 мм при плотности их нанесения равной 35,2% [1] в шахматном поперечнообтекаемом пучке увеличило тепловую эффективность в пакете на 29% при $Re \approx 5000$, а при $Re \approx 14\,000$ тепловая эффективность возросла лишь на 6%. В среднем при поперечном обтекании системы «пучок» вихревая интенсификация повышает коэффициент теплоотдачи на 17–18% при $N_0 = idem$. Видимо, параметры генерируемых вихрей недостаточны для существенного изменения структуры пограничного слоя на поверхности круглой трубы. Вихревая интенсификация теплообмена более целесообразна при внешнем продольном течении потока относительно трубы. Тепловая эффективность такого значения достигается предельной шероховатостью на наружной поверхности трубы. Сферические лунки на наружной поверхности горизонтальных латунных труб в шахматном пучке не повлияли на интенсивность теплоотдачи конденсирующего пара, а выпуклости под лунками на внутренней поверхности труб вызвали рост тепловой эффективности в 1,33 раза, но этот эффект достигнут вследствие шероховатости на внутренней поверхности, а облунение труб лишь привело к возникновению этой шероховатости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экспериментальное исследование тепловых и гидравлических характеристик теплообменных поверхностей, сформированных сферическими лунками / М. Я. Беленький [и др.]. // Теплофизика высоких температур. – 1991. – Т. 29. – №8. – С. 1142–1147.

УДК 621.928.37+621.928.93

В. В. Кузьмин, доц., канд. техн. наук;
А. И. Ершов, проф., д-р техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ТЕХНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ПРИ ОЧИСТКЕ ЗАПЫЛЕННЫХ ГАЗОВ В ЦИКЛОНАХ

Достоинствами циклонов, обеспечившими широкое распространение их среди аппаратов пылегазоочистки, являются относительно низкая стоимость, отсутствие движущихся частей и расходных материалов, вследствие чего общие затраты на очистку газов циклонах определяются главным образом энергетическими затратами. Уменьшить энергозатраты можно с помощью специальных устройств, раскручивающих очищенный газ на выходе из циклона. К недостаткам, ограничивающим использование подобных устройств, относят возможность их негативного влияния на эффективность очистки и неприменимость при улавливания слипающейся пыли, из опасений, видимо, зарастания уменьшенного раскручивающим устройством сечения для прохода газа.

С участием авторов разработаны две различные конструкции устройств для снижения гидравлического сопротивления циклонов и энергозатрат на очистку газа в них: статичный лопастной раскручиватель, устанавливаемый в выхлопной трубе циклона, и устройство в виде двух крыльчаток, закреплённых на валу, по оси циклона, перед входом в выхлопную трубу и на выходе из нее, в улитке.

Применение лопастного раскручивателя дает возможность снизить гидравлическое сопротивление наиболее распространенных циклонов НИИОГаз на 26–30% при сохранении неизменной эффективности очистки. Устройство с вращающимися крыльчатками снижает сопротивление циклонов примерно на 18–20%. В то же время данное устройство при установке дополнительного зачистного приспособления позволяет использовать энергию вращательного движения крыльчаток для очистки внутренних поверхностей корпуса циклона, предотвращая, в частности, накопление на них слипающейся пыли.

Таким образом, разработанные к настоящему времени технические способы снижения гидравлического сопротивления циклонов могут успешно применяться при очистке газов от различной пыли, обеспечивая энергосберегающий и экономический эффекты.

УДК 621.1.016

Д. Г. Калишук, доц., канд. техн. наук;
Н. П. Саевич, доц., канд. техн. наук;
А. Э. Левданский, доц., д-р техн. наук;
Д. И. Чиркун, ст. преп., канд. техн. наук; Е. В. Опимах, асп.
(БГТУ, г. Минск)

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА УСТРОЙСТВА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В РАСТВОРИТЕЛЯХ СИЛЬВИНИТОВОЙ РУДЫ

Актуальность решения задач, связанных с поддержанием регламентных режимов при проведении химико-технологических процессов, не вызывает сомнений. Одной из важных проблем является соблюдение температурного режима при растворении сильвинитовой руды в производстве хлорида калия.

Авторами проведен обзор и анализ технологий нагрева жидких сред и аппаратов, используемых для этой цели. В обзоре наибольшее внимание уделено процессу нагрева жидкости острым паром и струйным теплообменникам смешения. В результате обзора и его анализа был обоснован выбор для лабораторных исследований в качестве устройства для стабилизации температурного режима в растворителях струйного теплообменника смешения.

Разработаны лабораторные установки для исследования циркуляционного и емкостного струйных теплообменников, и методики их исследований. Проведены экспериментальные исследования процесса нагрева воды острым паром на лабораторных установках для четырех модификаций струйного теплообменника. При эксперименте также была получена информация путем визуальных наблюдений и видеосъемки. В результате обработки и анализа экспериментальных данных получены значения теплотехнических характеристик и сведения о режимах их устойчивой работы. Доказана пригодность аппарата, разработанного на основе результатов лабораторных исследований, для нагрева продуктов взаимодействия в растворителях сильвинитовой руды. Результаты опытно-промышленных испытаний опытного образца струйного теплообменника пар – жидкость на стадии растворения сильвинитовой руды на предприятии по производству хлорида калия показали его работоспособность, надежность и перспективность для промышленного внедрения.

УДК 621.635

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

ОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ ПРИ ПОДБОРЕ ВЕНТИЛЯТОРОВ

В сложившейся практике принято подбирать вентиляторы по требуемым производительности и напору. Выбор машины происходит в пределах одного конкретного типа, определяемого соотношением между основными геометрическими параметрами вентилятора. При таком подборе не гарантирован наибольший КПД эксплуатируемой машины. При переходе от одного конструктивного типа к другому изменяются форма типовой напорной характеристики, величина максимального КПД и соотношение между напором и расходом при номинальных режимах.

Известно 94 типа вентиляторов ЦАГИ. Для каждого из типов машин существует нормализованный ряд колес, номер которого соответствует его размеру в дециметрах. Совокупный анализ такого большого разнообразия машин возможен при использовании коэффициента быстроходности. Коэффициентом быстроходности, называется скорость вращения рабочего колеса модели вентилятора данного типа, соответствующая максимальному КПД при постоянном (эталонном) значении подачи и напора.

На сегодня существуют таблицы, в которые сведены известные типы вентиляторов. В таблицах указаны коэффициенты быстроходности, соответствующие рабочему участку характеристик, а также максимальный КПД. При указанном подходе гораздо легче определиться с типом вентилятора, обеспечивающим максимальный КПД. В дополнение к таблице имеются, и аэродинамические схемы для каждого типа вентиляторов ЦАГИ, где имеются все необходимые геометрические размеры в процентах от диаметра колеса. Предлагаемая схема подбора вентиляторов, на наш взгляд, является наиболее рациональной с позиции трудозатрат при подборе вентиляторов и последующего снижения их удельного энергопотребления.

**ВЫЧИСЛЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

Объектом исследования является древесина березы, пропитанная полиэфирной смолой ПН-1 и фенолоспиртами.

Поведение модифицированной древесины во времени при длительном нагружении описывается как поведение модели "типичного тела":

$$nE\dot{\varepsilon} + H\varepsilon = \sigma + n\dot{\sigma}, \quad (1)$$

где n , E , H – время релаксации, мгновенный и длительный модули упругости.

Уравнение ползучести, полученное в виде решения уравнения (1) при $\sigma = const$, имеет вид:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{H} + \sigma \left(\frac{1}{E} - \frac{1}{H} \right) \exp\left(-\frac{Ht}{nE}\right). \quad (2)$$

Реологические характеристики E, H, n в уравнении (2) находятся по кривым ползучести модифицированной древесины по следующей методике:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon(0)} = \frac{\sigma}{\varepsilon_y}; \quad H = \frac{\sigma}{\varepsilon(\infty)} = \frac{\sigma}{\varepsilon_y + \varepsilon_n} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{yли}}$$

Образец, оставленный под постоянной нагрузкой в течение времени $\tau = \frac{nE}{H}$, будет иметь деформацию, определяемую уравнением

$$\begin{aligned} \text{ползучести (2):} \quad \varepsilon(\tau) &= \frac{\sigma}{H} + \sigma \left(\frac{1}{E} - \frac{1}{H} \right) e^{-1} = \\ &= \varepsilon_y + \varepsilon_n + (\varepsilon_y - \varepsilon_y - \varepsilon_n) e^{-1} = \varepsilon_y + 0,632\varepsilon_n \end{aligned}$$

По опытным кривым ползучести находится время τ , которое соответствует деформации $\varepsilon(\tau)$, и вычисляется время релаксации:

$$n = \frac{H\tau}{E}.$$

Это позволяет вычислить коэффициент вязкости модифицированной древесины, так как исходя из принятой реологической модели

$$H = \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2}, \quad n = \frac{\mu}{E_1 + E_2},$$

$$\mu = n(E_1 + E_2).$$

В. Н. Павлечко, доц., канд. техн. наук;
С. К. Протасов, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

О ПОЛНОМ И ПОЛЕЗНОМ ДАВЛЕНИИ РАДИАЛЬНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ

Давление радиального нагнетателя создается, в основном, воздействием на среду лопастей рабочего колеса. Реакция лопастей в направлении окружной скорости колеса увеличивает скорость движения среды и создается динамическое давление. В радиальном направлении скорость движения среды практически не изменяется, а ее давление увеличивается и создается статическое давление. Кроме того, при вращении рабочего колеса среда приобретает вращательное движение, и возникающая центробежная сила также участвует в создании статического давления. Для лопастей, отогнутых в направлении вращения колеса, радиальная составляющая реакции лопастей направлена к оси вращения и снижает общее давление радиального нагнетателя. Таким образом, полное давление радиального нагнетателя характеризуется суммой динамической и статической составляющих.

Энергия, приобретаемая средой, частично расходуется на преодоление трения о лопасти и диски колеса, стенки входных и выходных устройств, при изменении направления движения потока, в результате протечек через уплотнительные устройства между колесом и корпусом, а также на преодоление трения в приводе. Полезное давление радиального нагнетателя определяется разностью полного давления и вышеуказанных потерь.

Обычно среда забирается из некоторого пространства (емкости, помещения), в котором ее скорость движения близка к нулю. Во входном патрубке радиального нагнетателя среда уже имеет некоторую скорость. На разгон среды расходуется часть энергии, но эти потери не учитываются ни в уравнении Эйлера, которое является основным при расчете радиальных нагнетателей, ни в уравнении Бернулли.

Получены выражения для определения потерь давления на разгон среды и полезного давления, создаваемого радиальным нагнетателем, при постоянном угле наклона лопастей.

В результате анализа установлено, что максимальное значение потерь давления, создаваемого рабочим колесом радиального нагнетателя, достигается при $\beta_2 \approx 70^\circ$, т. е. при загнутых вперед лопастях. Минимальное значение потерь давления при углах наклона лопастей $\beta > 120^\circ$ обусловлено снижением скорости движения среды.

УДК 621.926

Д.Н. Боровский, ассист.; П.Е. Вайтехович, д-р техн. наук, доц.
(БГТУ, г. Минск)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУСКОВОЙ МОЩНОСТИ РОТОРА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЦЕНТРОБЕЖНО-ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Для гарантированного пуска ротора и дальнейшей стабильной работы вертикальной центробежно-шаровой мельницы необходимо рассчитать мощность электродвигателя, подводимую к ротору.

Мощность электродвигателя напрямую зависит от крутящего момента, необходимого для сообщения загрузке и ротору вращательного движения, преодоления сил в подшипниках и между слоями загрузки и ротором. Он в свою очередь зависит от массы ротора мельницы и массы материала и мелющих тел, которые непосредственно контактируют с ротором и тем самым увеличивают его массу.

Требуемую мощность на ведомом валу P_m (Вт), необходимая для пуска ротора и преодоления сил трения определяется по формуле:

$$P_m = P_1 + P_2, \quad (1)$$

где P_1 – мощность необходимая для преодоления сил ротора, Вт; P_2 – мощность затрачиваемая на преодоление инерционных сил, Вт.

Мощность P_1 определяется по формуле (2), а мощность P_2 – по (3).

$$P_1 = M \cdot \omega \quad (2)$$

где M – крутящий момент на приводном валу, Н·м; ω – угловая скорость ротора мельницы, рад/с.

$$P_2 = I_z \cdot \varepsilon \cdot \omega \quad (3)$$

где I_z – момент инерции ротора относительно оси Z , кг·м²; ε – угловое ускорение ротора, рад/с².

Адекватность теоретических расчетов по определению мощности проверена экспериментально на натурном образце для двух диаметров ротора 125 и 185 мм и высотой 34 и 55 мм соответственно. Насыпная плотность загрузки ρ_2 определялась исходя из ее массы и внутреннего объема чаши ротора V . Отклонения расчетных и экспериментальных значений мощности не превысили 3%, что говорит об адекватности теоретической модели расчета пусковой мощности ротора мельницы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ягупов, А. В. Определение крутящего момента на валу ротора мельницы динамического самоизмельчения / А. В. Ягупов, А. С. Выскребенец / Сев.-Осет. гос. ун-т, Сев.-Кавк. горно-металлург. ин-т. – Орджоникидзе, 1981. – № 5 (115). – С. 80.

УДК 621.926.3

А. А. Гарабажиу, доц., канд. техн. наук;

А. Ф. Минаковский, доц., канд. техн. наук; Д. Н. Боровский, ассист.

(БГТУ, г. Минск)

МЕХАНОХИМИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИИ ФОСФОРИТОВ В ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯХ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Воздействие на некоторые вещества, в процессе их измельчения, мощными механическими нагрузками вызывает не только увеличение удельной поверхности, но и повышение их реакционной активности.

Результаты механохимической активации в значительной степени зависят от режима механической обработки и типа выбранной машины, в которой данный процесс будет проводиться. В связи с этим, для изучения процесса механохимической активации фосфоритов на кафедрах МиАХиСП и ТНВиОХТ БГТУ были разработаны три экспериментальные установки на базе дисмембраторной мельницы со съемной классификационной камерой, барабанной шаровой мельницы и вибрационной мельницы, реализующих различный механизм воздействия на обрабатываемый материал.

В результате экспериментальных исследований процесса механической активации фосфатных руд (фосфорита Каратау и Верхнекамского фосфорита) было установлено:

1) дисмембраторная мельница малоэффективна при активации фосфоритов желвакового типа и может использовать только для активации пластового фосфорита Каратау без применения классификационной камеры и при частоте вращения ротора 1500 об/мин.;

2) шаровая мельница достаточно эффективна при активации фосфоритов и может быть использована для механохимической активации:

– Верхнекамского фосфорита при шаровой загрузке 1:15, частоте вращения барабана 100 об/мин., продолжительности активации 60 мин. и применении в качестве мелющих тел шаров диаметром 5,0 мм;

– фосфорита Каратау при шаровой загрузке 1:10, частоте вращения барабана 100 об/мин. и продолжительности активации 30 мин. и применении в качестве мелющих тел шаров диаметром 5,0 мм;

3) вибромельница достаточно эффективна при активации фосфоритов и может быть использована для механохимической активации:

– Верхнекамского фосфорита при продолжительности активации 20 мин. и применении в качестве мелющих тел шаров диаметром 2,8 мм (шаровая загрузка 1:4) или комбинации шаров диаметрами 2,8 и 6,0 мм в соотношении 30% к 70% соответственно (шаровая загрузка 1:8).

УДК 621.926

В.С. Францкевич, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
А.С. Дорогокупец, м-т техн. наук, зам. главного механика
(РУП «Белмдепрепараты»)

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ДИНАМИЧЕСКОГО КЛАССИФИКАТОРА С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для проведения анализа работы помольно-классифицирующего агрегата использовано компьютерное моделирование в программном комплексе ANSYSCFX. Аналитические исследования проводились на двух типах динамических сепараторов – с ротором в виде корзины и с цилиндрическим ротором, дополненным стационарными отбойными лопатками. Анализ аэродинамических характеристик проведен в сечениях, проходящих по усредненному диаметру ротора корзины и в вертикальном сечении, проходящем через ось симметрии. Анализируя полученные результаты, отметим, что структура аэродинамики воздушного потока симметрична и структурирована в сечении помольного агрегата. При использовании сепаратора с цилиндрическим ротором наблюдается в сепарационной части зона низких скоростей, что позволяет некондиционному продукту без аэродинамического воздействия восходящего потока воздуха свободно вернуться на доизмельчение. Распределение скорости воздушного потока в горизонтальных сечениях для сепаратора с ротором в виде конической корзины не равномерно в области корзины, что связано с ассиметричными расположениями патрубков ввода исходного сырья и выхода продукта. В случае сепаратора с цилиндрическим ротором стационарное кольцо является гасителем кинетической энергии. Максимальная скорость движения воздушного потока сосредоточена по периферии сепаратора, а в области корзины скорость существенно меньше.

В результате анализа можно сделать следующие выводы:

– сепаратор с ротором в виде конической корзины обеспечивает симметричность и структурность аэродинамического потока воздуха, что позволяет предотвратить появление «мертвых» зон, где процесс классификации становится неуправляемым;

– сепаратор с цилиндрическим ротором и стационарными отбойными лопатками при повышенном аэродинамическом сопротивлении и меньшей производительности позволяет из-за наличия двух зон сепарации получать готовых продукт с большей удельной поверхностью.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ СУСПЕНЗИИ В ЗОНЕ
ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ
С МЕШАЛКАМИ**

На эффективность помола материалов в шаровых мельницах с мешалками существенное влияние оказывает гидродинамика загрузки. Основными элементами мельницы являются вращающиеся диски (мешалки). Исходя из этого, задача гидродинамики сводится к определению скоростей среды вблизи диска, она подобна задаче о движении в пограничном слое.

Движение жидкости вблизи вращающегося диска мешалки в общем виде для осесимметричного течения в цилиндрической системе координат описывается при помощи уравнений Навье-Стокса и уравнения неразрывности [1]. Эти уравнения в частных производных методом введения безразмерной координаты и замены переменных переходят в обычные дифференциальные уравнения. В результате решения этих уравнений были получены графические зависимости изменения составляющих скорости в радиальном, осевом и окружном направлениях. После их анализа можно сделать вывод, что при движении среды вблизи вращающегося диска происходит ее трехмерное течение. Так же можно отметить, что при вращении диск оказывает воздействие на среду на расстоянии 10-20 мм от него. При этом основное влияние имеет окружная составляющая, которая в несколько раз больше остальных. Предложена методика для определения мощности (1) затрачиваемой на перемешивание среды внутри шаровой мельницы с мешалкой.

$$N = 0,61\pi\rho_c R^4 (v\omega^5)^{0,5} k, \quad (1)$$

где R – радиус диска, м; ρ_c – плотность среды, кг/м³; v – кинематическая вязкость среды; ω – угловая скорость вращения диска, с⁻¹; k – количество дисков. Она позволяет более точно определять общую мощность, затрачиваемую на помол материала в шаровой мельнице с мешалкой, а это в свою очередь снизит энергопотребление при работе машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя/ Г. Шлихтинг – М.: Наука, 1974. – 711 с.

2. Козловский В.И. Эффективность шаровой мельницы с мешалкой в периодическом и непрерывном режимах/ В.И. Козловский, П.Е. Вайтехович// МНТК «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы» Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26-28 ноября 2014 г.: в 2-х ч. – Минск: БГТУ, 2014. Ч. 1. С. 258-261.

УДК 621.926

В.И. Козловский, ассист.; П.Е. Вайтехович, д-р техн. наук, доц.
(БГТУ, г. Минск)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ С НАКЛОННЫМИ ДИСКАМИ

Шаровые мельницы с мешалками различных конструкций находят широкое применение во многих отраслях промышленности для измельчения частиц до микронных размеров и даже менее 1 мкм [1].

Одним из факторов, влияющих на эффективность диспергирования, является гидродинамика загрузки, которая в основном зависит от технологических и конструктивных параметров мельницы. Поэтому после изучения влияния этих параметров на процесс помола была предложена новая конструкция мешалки отличительной особенностью, которой является то, что для перемешивания используются не прямые диски, а наклонные.

Методика проведения этих исследований описана в [2-3]. После проведения экспериментов были получены характеристик крупности распределения размеров частиц в объеме пробы. В качестве граничного был принят размер 10 мкм, и определена эффективность диспергирования для каждого из случаев [3].

В результате анализа полученных зависимостей можно сделать вывод, что, как и в случае с прямыми дисками здесь наблюдается снижение эффективности диспергирования с увеличением производительности, а уменьшение размера мелющих тел приводит к ее повышению. Но по сравнению с прямыми использование наклонных дисков позволяет увеличить эффективность диспергирования на 10 – 40%, за счет более интенсивной турбулизации среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Joost, B. Einfluß vor Mahlkörper Eigenschaften auf die Zerkleinerung in Rührwerkskugelmühlen / B. Joost, J. Schwedes // Chem. – Ing. Techn. – 1996. – Jhrg. 68, № 7. – S. 809–812.
2. Козловский, В.И. Измельчение материалов в шаровой мельнице с мешалкой/ В.И. Козловский, П.Е. Вайтехович// Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганических веществ. – 2012. – Вып. III. – 200 с.
3. Козловский, В. И. Анализ дисперсности продуктов в шаровой мельнице с мешалкой / В. И. Козловский, А. М. Волк, П. Е. Вайтехович // Журнал прикладной химии. – 2012. – Т. 85, вып. 11. – С. 1895-1898.

УДК 666.691

Петров О.А., доц., канд. техн. наук (БГТУ, Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Все способы гидродинамической обработки материалов и устройства для их осуществления основаны на явлениях, протекающих в жидкостях, и обеспечиваются совокупностью физических воздействий, которые условно можем разделить на четыре основные группы: 1) ударное воздействие, возникающее при контакте частиц материала друг с другом и с элементами устройства; 2) пульсационное (акустическое или ультразвуковое) воздействие; 3) действие сил трения, обусловленное вязкостью и распределением градиента скоростей в движущейся жидкости; 4) кавитационное воздействие.

Одной из основных задач исследования такого оборудования, является снижение энергозатрат. Это касается и роторно-дисковых измельчителей, которые в этом случае являлись объектом наших исследований. В данной работе мы теоретически проанализировали от чего зависят затраты энергии при гидродинамической обработке материалов в роторно-дисковом измельчителе и рассмотрели возможности их снижения.

Принцип действия исследуемого оборудования заключается в том, что суспензия под давлением поступает на вход в центре измельчителя, распределяется по межножевым канавкам статорного и роторного дисков, движется по ним к периферии, многократно подвергаясь как гидродинамическому, так и механическому воздействию, и устремляется к выходу с возможностью циркуляции.

Таким образом, на основании проведенных исследований, можем сделать вывод, что на энергетические затраты в роторно-дисковых измельчителях влияют следующие факторы: частота вращения ротора, конструкция размалывающей гарнитуры, удельная нагрузка устанавливаемая на мельнице при размоле, полезный расход энергии необходимый для повышения степени размола частиц.

Для снижения энергозатрат необходимо: 1) увеличить долю полезной мощности в общих энергозатратах; 2) уменьшить долю гидравлических и механических потерь; 3) увеличить насосный эффект во избежание установки дополнительного насоса для создания напора на входе.

УДК 502.174.1

Опимах Е. В., асп.; Левданский А. Э., доц., д-р техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ФЛОТИРУЕМОСТЬ ПОЛИСТИРОЛА

В настоящее время проблема утилизации пластмассовых отходов занимает одно из важнейших мест в мире. Это объясняется ростом производства пластмассовых материалов и расширением областей их применения в различных отраслях. Вместе с тем, пластмассовые отходы являются источником вторичных энергетических и сырьевых ресурсов.

Проблем, связанных с утилизацией полимерных отходов, достаточно много. Наибольшие трудности связаны с переработкой и использованием смешанных отходов из-за несовместимости термопластов, входящих в состав бытового мусора.

Целью работы являлось экспериментальное нахождение зависимостей извлечения полистирола (ПС) при его флотации от физических и режимных факторов.

Эксперименты были выполнены на лабораторном флотационном аппарате колонного типа с пневматической аэрацией.

Исследования выполнялись с использованием в качестве ПАВ смеси, содержащую натрий лауретсульфат и диэтаноламид.

Проведенные исследования флотации ПС, представленного в виде частиц с размерами от 1 до 4 мм, в лабораторном флотационном аппарате позволили получить основные зависимости извлечения ПС от содержания ПАВ, расхода воздуха, высоты слоя аэрируемой жидкости и ее температуры. При флотации извлечение достигало 99%. Была определена достаточная высота слоя аэрируемой жидкости, равная 0,7 м, дальнейшее увеличение которой не влияет на извлечение ПС. Важной особенностью является то, что оптимальное извлечение наблюдается при малых количествах ПАВ и без подогрева жидкости.

Также можно сделать вывод о том, что флотационное разделение полимеров, основанное на их избирательной смачиваемости, является перспективным направлением при переработке смешанных пластмассовых отходов. Это позволит уменьшить затраты ручного труда на этапе постадийного разделения полимерных отходов. При простом аппаратном оформлении и малых расходах ПАВ и воздуха возможно создание высокопроизводительного и автоматизированного процесса сортировки полимерных отходов.

УДК 666.1:535.372

Г. Е. Рачковская, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.;

Г. Б. Захаревич, мл. науч. сотр. (БГТУ, г. Минск);

П. А. Лойко, канд. физ.-мат. наук, зав. сектором нанофотоники;

Н. А. Скопцов, науч. сотр.;

К. В. Юмашев, д-р физ.-мат. наук (НИЦ ОМиТ БНТУ, г. Минск)

ПРОЗРАЧНАЯ ОКСИФТОРИДНАЯ СТЕКЛОКЕРАМИКА, СОДЕРЖАЩАЯ НАНОКРИСТАЛЛЫ Er:PbF₂

Представлены результаты по синтезу и исследованию структурных свойств, оптического поглощения и ап-конверсионной люминесценции прозрачной стеклокерамики с нанокристаллами Er:PbF₂, полученной на основе оксифторидного стекла, активированного ионами эрбия. Идея работы состоит в управляемом усилении красного свечения ионов Er³⁺ в области 650 нм для создания желтых люминофоров.

Исходное стекло синтезировано в системе SiO₂-GeO₂-PbO-PbF₂ по традиционной стекольной технологии. Основная матрица стекла активирована оксидом эрбия Er₂O₃ в количестве 1.0 мол%. Синтез стекла осуществлялся при температуре 950±50 °С в электрической печи на воздухе в течение 0.5 ч. Прозрачная стеклокерамика получена термической обработкой стекла при температуре кристаллизации

350 °С. РФА подтвердил выделение в матрице стекла нанокристаллов β-PbF₂. Смещение на рентгенограмме дифракционных максимумов выделившихся нанокристаллов относительно кристаллографических рефлексов чистого «объемного» кристалла PbF₂ (параметр решетки $a=5.940 \text{ \AA}$) свидетельствует об искажении кристаллической структуры и изменении параметра решетки нанокристаллов ($a=5.810 \text{ \AA}$), что указывает на вхождение ионов Er³⁺ в нанокристаллы PbF₂.

Термическая обработка стекла приводит к структурированию полосы поглощения ионов Er³⁺, связанной с переходом $^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$, подтверждая вхождение последних в нанокристаллы PbF₂. В спектре ап-конверсионной люминесценции стеклокерамики при возбуждении лазерным диодом на длине волны 965 нм наблюдаются интенсивные полосы с максимумами на длинах волн 522 нм (переход $^2H_{11/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$), 540/549 нм ($^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$) – зеленая область, 651/667 нм ($^4F_{9/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$) – красная область, 800/821 нм ($^4I_{9/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$) – ИК область спектра. Интенсивность «красной» люминесценции сравнима с «зеленой», что определяет насыщенный желтый цвет свечения. Термообработка стекла также увеличивает интенсивность ап-конверсионной люминесценции.

Разработанная стеклокерамика обладает улучшенными абсорбционными и люминесцентными свойствами и перспективна для использования в качестве люминофора желтой области спектра.

УДК 666.64

И.А. Левицкий, проф., д-р техн. наук;
А.И. Позняк, мл. научн. сотр., канд. техн. наук;
С.Е. Баранцева, ст. научн. сотр, канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

КЕРАМИЧЕСКИЕ МАССЫ ДЛЯ МАЙОЛИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Улучшение эксплуатационных характеристик керамических майоликовых изделий, в частности снижение показателей водопоглощения, обеспечивающих повышенную механическую прочность и водонепроницаемость, является актуальной задачей, решение которой позволит расширить сферу применения майоликовой посуды и повысить ее конкурентноспособность.

В настоящее время в ОАО «Белхудожкерамика» изготовление майоликовых изделий хозяйственно-бытового назначения базируется на использовании легкоплавкой глины «Гайдуковка», которая характеризуется наличием значительного количества (более 6 мас. %) примесных минералов: кварца, карбонатных и железистых соединений. Это не обеспечивает качественное спекание керамических масс, требуемые показатели водопоглощения и прочности продукции и исключает многократную обработку изделий в посудомоечных машинах. Для совершенствования составов керамических масс разработана система сырьевых компонентов, в которой содержание глины «Гайдуковка» варьировалось в пределах 75,0–87,5, глины Веселовской – 7,5–15,0 и базальта – 10,0–17,5 мас.%. Физико-химические свойства образцов, изготовленных методом литья, с последующим обжигом при 1000, 1050, 1075 и 1100 °С, позволили установить, что оптимальным температурным интервалом является 1075–1100 °С. При этом показатели водопоглощения изделий по мере увеличения содержания базальта от 10,0 до 17,5 мас. % с шагом варьирования 2,5 мас. % имеют тенденцию к постепенному снижению от 14,2 до 10,5 %. Аналогичная зависимость отмечается для показателей механической прочности, которая изменяется от 14,8 до 15,6 МПа. Шликер разработанной рецептуры обеспечивает ускорение времени сушки керамического черепка за счет введения огнеупорной глины каолинито-гидрослюдистого минерального состава, образцы практически не подвержены деформации и усадке после формования, утильного и политого обжига. Таким образом, разработанный состав керамической массы рекомендован для апробации в условиях ОАО «Белхудожкерамика» при получении майоликовых изделий с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

УДК 666.189.3

И.М. Терещенко, доц., канд. техн. наук;
О.Б. Дормешкин, д-р техн. наук;
А.П. Кравчук, ст. преп., канд. техн. наук;
Б.П. Жих, магистрант
(БГТУ, г. Минск)

ОДНОСТАДИЙНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сравнительная характеристика наиболее распространенных неорганических теплоизоляционных материалов показывает, что по комплексу свойств (высокий уровень теплоизоляционных характеристик, долговечность, экологическая чистота) наиболее предпочтительным является использование пеностекла. Однако крупным недостатком данного продукта является необходимость высокотемпературного (максимальная температура более 1400 °С) синтеза стекла, что требует значительных энергетических затрат и обуславливает высокую стоимость изделий из пеностекла.

Целью проводимой работы является изучение возможности получения вспененных теплоизоляционных материалов, обладающих свойствами пеностекла, путем низкотемпературного синтеза из гидрогелей кремнезема.

В качестве кремнеземистого сырья в настоящей работе использовались кремнегель (отход производства фтористого аммония) и трепел месторождения «Стальное».

Для получения гранулированного пеносиликата разработан одностадийный технологический процесс, который включает следующие операции: механоактивация силикатного сырья, гидротермальный синтез полисиликата, сушка, грануляция, фракционирование, старение, вспенивание продукта. Процесс не требует сложного дорогостоящего оборудования, больших затрат топлива и электроэнергии (температура вспенивания: в пределах 400–600 °С), обеспечивает возможность варьирования гранулометрического состава конечного продукта (от 0,5 до 30 мм).

Модифицирование свойств получаемых утеплителей осуществляется за счет введения добавок при синтезе пеносиликата.

Синтезированные материалы (фракция 0–2 мм) характеризуются следующими свойствами: плотность насыпная – 80–300 кг/м³; коэффициент теплопроводности – 0,045–0,08 Вт/(м·К); прочность на раздавливание – 0,5–3,2 МПа; водопоглощение – 0,5–25 %.

УДК666.3-127.7; 666.3-134.1

Ю.Г. Павлюкевич, доц., канд. техн. наук;
Н.Н. Гундилович, асп.;
М.В. Деревяго, студ.
(БГТУ, г. Минск)

МИКРОСТРУКТУРИРОВАННАЯ КЕРАМИКА ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Микроструктурированные материалы получены на основе керамических масс, включающих в качестве наполнителя глинозем ГК-2, в качестве связующего систему глина Керамик-Веско – стекло марки ХТ-1 – гиббсит. Мел МК-1 и кокс КЛ-1 применялись в качестве дополнительных порообразователей.

Установлено, что введение гиббсита в состав связующего интенсифицирует формирование муллита, как в объеме материала связки, так и на поверхности зерен наполнителя. $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, образующийся при его термической диссоциации, с одной стороны, активно переходит в бороалюмосиликатный расплав, насыщая его оксидом Al_2O_3 и, меняя физико-химические свойства расплава, с другой стороны, обладая высокой химической активностью, усиливает кристаллизацию, тем самым способствуя росту значений механической прочности.

Установлено, что величина механической прочности фильтрующей керамики также определяется площадью контакта между частицами. Чем она выше, тем на большую площадь распределяется прилагаемая нагрузка, а, следовательно, и выше механические показатели. Площадь контакта частиц в материале зависит от количества вводимого связующего и дисперсности зерен наполнителя.

Исследование микроструктуры керамических мембран позволило установить, что поровая структура материала представлена развитой сетью открытых каналобразующих пор, средний размер которых составляет 10 мкм, что позволяет применять разработанный материал для микрофильтрации дисперсных гидросистем. Изучение кинетики водонасыщения и сушки образцов керамических мембран позволило установить, что структура полученных материалов однородна на макроуровне и способна обеспечить эффективное использование всего объема фильтрующего материала.

В результате выполнения исследований разработан состав керамической массы, материалы, полученные на его основе обладают высокими эксплуатационными свойствами: кислотостойкость 99,65 %; механическая прочность при сжатии до 12 МПа; коэффициент проницаемости $5,32 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$.

УДК 666.223.9:666.11.01

И. А. Левицкий, проф., д-р техн. наук;
М. В. Дяденко, ст. преп., канд. техн. наук;
Л. Ф. Папко, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ СТЕКЛОЦЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СВИНЦОБОРАТНЫХ СТЕКОЛ

Целью настоящей работы является разработка составов легкоплавких стекол с требуемым комплексом реологических и термических свойств для композитных стеклоцементов, предназначенных для вакуумплотного соединения волоконно-оптических элементов (ВОЭ) с металлической оправой. Стеклоцемент указанного назначения должен иметь ТКЛР $(77 \pm 1) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$, согласованный со стеклом световедущей жилы оптического волокна, составляющего основу ВОЭ.

Синтез легкоплавких стекол для стеклоцементов выполнен на основе системы $\text{ZnO-PbO-B}_2\text{O}_3$ при содержании компонентов, мас. %: 50–85 PbO; 5–40 ZnO; 10–45 B_2O_3 .

По результатам исследований определена область составов некристаллизующихся стекол с соотношением $\text{ZnO}/(\text{PbO} + \text{B}_2\text{O}_3)$ менее 0,20, характеризующихся показателем ТКЛР свыше $90 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$.

Оптимизация составов стекол свинцовоборатной системы проводилась по результатам исследования их реологических свойств. Установлено более выраженное флюсующее действие оксида цинка в сравнении с оксидом бора. Это связано с координационным состоянием ионов бора, а именно ростом доли групп $[\text{BO}_4]$. Особенностью температурной зависимости вязкости опытных стекол является увеличение показателей вязкости образцов, содержащих более 10 мас.% ZnO, в области значений 10^4 – 10^5 Па·с, что связано с кристаллизацией стекол при температурах свыше 480°C .

Для обеспечения заданного показателя ТКЛР и повышения термомеханической прочности спая апробированы композиции легкоплавкое стекло–кристаллический наполнитель, в качестве которых использовались циркон, оксид олова, кордиерит, сподумен и оксид циркония, вводимые в количестве 10–30 мас.ч. на 100 мас.ч стекла. Требуемые показатели ТКЛР и растекаемости достигнуты при использовании в качестве кристаллического наполнителя сподумена.

Разработан композитный стеклоцемент с показателем ТКЛР, составляющим $77,2 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ и согласованным с ТКЛР волоконно-оптического элемента. Температура деформации стеклоцемента составляет $520 \pm 5^\circ\text{C}$. Стеклокристаллическая структура цемента формируется в условиях обжига при температуре $450 \pm 10^\circ\text{C}$.

УДК 666.295.4:666.75

А. Н. Шиманская, асп.;
И.А. Левицкий, проф., д-р техн. наук;
И.В. Круковская, студ.
(БГТУ, г. Минск)

ТИТАНСОДЕРЖАЩИЕ ИЗНОСОСТОЙКИЕ ГЛАЗУРНЫЕ ПОКРЫТИЯ ПЛИТОК ДЛЯ ПОЛОВ

Глазурные покрытия плиток для полов должны обеспечивать высокую износоустойчивость, физико-химические свойства и фактуру, препятствующую скольжению. Синтез глазури осуществлялся в системе, включающей, мас. %: полевой шпат – 5,0–35,0; фритта ОР (патент РБ 15539) – 12,5–25,0; кварцевый песок – 5,0; каолин – 5,0; технический глинозем – 10,0; доломит – 17,5; волластонит – 2,0 и огнеупорную глину – 3,0. Для интенсификации процесса образования износоустойчивых кристаллических фаз, равномерно распределенных в стекломатрице и имеющих микронные размеры, использовался диоксид титана в количестве 10,0–30,0 мас. %.

Комплексное исследование, включающее использование методов рентгенофазового анализа, электронной микроскопии, ИК-спектрометрии позволило выделить основные этапы формирования глазурных покрытий: 1) 900–1050 °С – образование жидкой фазы, цементирующей частицы исходных шихтовых составляющих; 2) 1050–1150 °С – увеличение ее количества и оплавление частиц сырьевых материалов; 3) 1150–1200 °С – формирования структуры стеклокристаллического покрытия с равномерным пространственным распределением кристаллических фаз – анортита, рутила, корунда, титанатов кальция и магния. Температура начала размягчения глазури составляет 1100–1120 °С; фактура поверхности – матовая от бархатистой до шероховатой; белизна покрытий – 71–87 %; блеск – 9–17 %; термостойкость – 200 °С; степень истирания – 3 (1500 оборотов, 7 циклов); твердость по шкале Мооса – 6,5–7,0. ТКЛР глазурных покрытий находится в интервале $(68,0–74,0) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$, что обеспечивает высокую прочность сцепления в системе «глазурь–ангоб–керамический черепок». Глазури обладают химической устойчивостью к воздействию лимонной кислоты, а также раствору № 3, что соответствует требованиям ГОСТ 27180–86 и СТБ ЕН ИСО 10545–14–2007.

Установлено, что высокая износоустойчивость покрытий и требуемая бархатисто-матовая фактура обеспечиваются за счет рационального сочетания стекловидной и кристаллических фаз, каждая из которых вносит свой вклад в формирование структуры покрытия.

А. А. Мечай, канд. техн. наук, доц.;
М. П. Мисник, мл. научн. сотр.;
А. А. Гарабажиу, канд. техн. наук, доц.
(БГТУ, Минск)

РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ МЕХАНОАКТИВАЦИИ ЦЕМЕНТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО АВТОКЛАВНОГО ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

В строительном комплексе Республики Беларусь автоклавный ячеистый бетон прочно занимает одно из ведущих мест как универсальный материал, который обеспечивает современное качество и конкурентоспособность строительной продукции.

В соответствии с принятой в стране программой по энергосбережению с 2015 года 60% жилья должно вводиться в энергосберегающем исполнении, что требует обеспечения термического сопротивления стен $R_{T \text{ норм}} = 6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Получить такие показатели для стен из ячеистого бетона плотностью 400–500 кг/м³ затруднительно. Для этого необходимо использовать конструкционно-теплоизоляционные ячеистые бетоны пониженной плотности.

На кафедре разработано несколько направлений по получению высокопрочного автоклавного ячеистого бетона с маркой по плотности 250–350 кг/м³ (использование сульфоминеральных добавок, введение УНТ при помоле ИПВ). В настоящее время ведутся исследования по использованию механоактивации портландцемента в производстве ячеистого бетона. Механоактивация цемента позволяет более полно использовать вяжущий потенциал этого сырьевого компонента.

Совместно с кафедрой машин и аппаратов химических и силикатных производств были разработаны режимы механоактивации цемента с использованием дисмембраторной мельницы с классификационной камерой.

Наиболее эффективным является режим механоактивации цемента для получения ячеистого бетона при частоте вращения ротора 3000 об/мин и угле поворота лопатки классификационной камеры – 30°. Прирост прочности по сравнению с контрольным образцом ячеистого бетона составляет 59%.

Механоактивация портландцемента для получения ячеистого бетона позволяет упорядочить процессы кристаллизации гидросиликатов кальция в при тепловлажностной обработке, оптимизировать микроструктуру межпоровых перегородок и улучшить физико-механические свойства готовых изделий.

УДК 666.1.001.5

Н.М. Бобкова, проф., д-р техн. наук;
Е.Е. Трусова, ст. преп., канд. техн. наук; А.С. Дамуть
(БГТУ, г. Минск)

СВЕТОРАССЕИВАЮЩИЕ СТЕКЛА ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

Одним из компонентов светильников на основе светодиодов являются светорассеивающие стекла, обеспечивающие выравнивание общего поля освещенности при использовании панелей с несколькими светодиодами повышенной мощности. Светорассеивающий эффект в стеклах обеспечивается применением глушителей. Основные факторы, влияющие на степень глушения стекла: различие в показателях преломления стекла и глушащих частиц; размер и количество глушащих частиц в единице объема стекла; вид применяемых глушителей; состав и свойства основного стекла. Поскольку силикатные стекла, содержащие 60–70 % SiO_2 , имеют показатель преломления в интервале 1,48–1,52, наиболее подходящими глушителями для светорассеивающих стекол со светопропусканием 70–80 % могут быть фосфаты с показателем преломления 1,59–1,63. Разработаны составы светорассеивающих стекол с регулируемым светопропусканием в видимой части спектра (380–760 нм) на основе $\text{ZnO-P}_2\text{O}_5\text{-SiO}_2$ (при постоянном содержании Na_2O , K_2O , CaO , B_2O_3) стеклообразующей системы. Изучены основные физико-химические и оптические характеристики стекол. Исследование структуры методом электронной микроскопии позволило установить наличие условно капельной фазы, равномерно распределенной в матрице стекла. Исследование состава стеклянной матрицы и капельной фазы затруднено вследствие малых размеров капель. Однако сравнительный анализ усредненного состава стекла, полученный микроанализом и исходного, заданного по рецептуре показал, что стеклянная матрица незначительно обеднена компонентами щелочных оксидов, оксидов цинка и фосфора. Можно предположить, что происходит обогащение данными оксидами капельной или частично закристаллизованной вторичной фазы. Микроанализ структуры стекла методом РФА подтвердил преобладание неоднородностей ликвационного характера с присутствием кристаллической фазы KZnPO_4 . Таким образом, процесс глушения обусловлен частично присутствием кристаллической фазы состава KZnPO_4 и наличием капельной ликвации. При этом размер формирующихся фаз составляет не более 0,25 мкм.

УДК 666.635

Е.Ф. Полуянович, магистрант;

И.А. Левицкий, проф., д-р техн. наук (БГТУ, г. Минск)

УЛУЧШЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛИТОК ДЛЯ ВНУТРЕННЕЙ ОБЛИВКИ СТЕН ОДНОКРАТНЫМ ОБЖИГОМ

Целью работы является установление закономерностей деформации плиток в зависимости от технологических параметров на различных стадиях производства, влияние составов наносимых покрытий на деформационные явления, а также усовершенствование состава ангобного покрытия. В настоящее время в Республике Беларусь развернута крупномасштабная работа по импортозамещению используемых сырьевых материалов, рационализации составов масс, а также по уменьшению энергетических затрат на выпуск продукции. В этой связи на ОАО «Березастройматериалы» применяется технология однократного обжига для получения плиток для внутренней облицовки стен. Данная технология позволила исключить стадию утильного обжига, однако возникли проблемы, связанные с неоднородностью геометрических размеров продукции и отличными от классической технологии двукратного обжига сниженными показателями сортности продукции вследствие деформации плиток.

Для определения технологического передела и причины деформации плитки произведен пошаговый анализ параметров технологического процесса на каждой из стадий обработки материалов и полуфабриката: параметры пресс-порошка, режимы прессования и сушки полуфабриката, качество нанесения воды, ангоба и глазури, время нахождения плитки в компенсаторе перед входом в печь, параметры обжига, в результате чего были внесены корректировки в технологический режим, позволившие увеличить количество годной продукции.

Также проведено усовершенствование состава ангобной массы, результатом которого стал состав с уменьшенным содержанием дорогостоящего цирконового концентрата за счет увеличения количества полевого шпата. Разработанный состав отличается незначительным снижением белизны по отношению к использованному ранее (с 86,73 % до 86,20 %), соответственно внедрение предложенного состава приведет к экономии денежных средств. Рентгенофазовый анализ показал, что разработанный состав содержит меньшее количество циркона при увеличении содержания анортита в сравнении с производственным составом. Результатом проведенной работы является увеличение годной продукции с 95,5 % до 96,9 %.

УДК 666.151.1+666.1.039.2

Ю.Г. Павлюкевич, доц., канд. техн. наук;
А.П. Кравчук, ст. преп., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ПОЛУЧЕНИЕ ЛИСТОВЫХ СТЕКОЛ ТОНКИХ НОМИНАЛОВ

При остеклении теплиц и фасадов зданий, изготовлении стеклопакетов, солнечных батарей, декоративных витражей, защитного и многослойного безопасного стекла все большее применение находят листовые стекла тонких номиналов (толщиной менее 2 мм). Их использование является целесообразным с точки зрения снижения материалоемкости производства и веса изделий. Традиционной сферой применения листовых стекол тонких номиналов является изготовление предметных, часовых и покровных стекол, которые в настоящее время импортируются в Республику Беларусь.

Целью проводимой работы является разработка технологических основ процесса получения листовых стекол тонких номиналов.

Для изучения процесса формирования листового стекла тонких номиналов изготовлена экспериментальная установка. Формование осуществляется методом вертикального вытягивания вниз. Конструкция установки позволяет локализовать тепловой поток от нагревателей в небольшом объеме печи, что обуславливает градиент температур 100–150 °С и позволяет утонять предварительно сформованное стекло толщиной 3–10 мм до толщины 0,2–2,0 мм. При утонении параметры формуемой ленты стекла определяются температурой формования, скоростью вытягивания и скоростью охлаждения. Путем их регулирования обеспечивается минимальная величина переходной зоны и стабильность геометрических параметров ленты стекла.

При вытягивании стекла активное формование протекает в интервале температур 840–850 °С, что соответствует значениям вязкости стекла $10^{4,8} - 10^5$ Па·с. В этих условиях стягивающее воздействие сил поверхностного натяжения не приводит к значительному сужению ленты стекла. Скорость формования находится в пределах значений от 6 м/ч до 230 м/ч.

Проведенный анализ качества поверхности образцов показал, что по совокупности показателей (высота неровностей, средний шаг неровности, плотность выступов и т.д.) полученные стекла несколько уступают по качеству флоат-стеклу. Высота неровностей, определенная по 10 точкам, для флоат-стекла составляет 0,323 мкм, а для тянутого стекла – 0,38–1,06 мкм. Причем величина этого показателя зависит от толщины формуемого стекла и с уменьшением номинала стекла возрастает. Отношение толщины формуемого стекла к величине неровностей не превышает 0,1 – 0,5 %.

УДК 553.492.044 (476)

О.А. Сергиевич, зав. сектором (ГП «Институт НИИСМ», г. Минск);
Е.М. Дятлова, канд. техн. наук, доц.;
Р.Ю. Попов, канд. техн. наук, ассист.;
Д.О. Сушко, инж. (БГТУ, г. Минск)

ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ НАГРЕВАНИИ ПРИРОДНЫХ И ОБОГАЩЕННЫХ КАОЛИНОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РБ

Деформационно-механические и термические характеристики каолинов «Ситница» и «Дедовка» имеют важное значение при получении из них огнеупорных изделий, характеризующихся способностью сопротивляться разрушениям и необратимому изменению объема и формы под действием внешних нагрузок в условиях повышенных температур. Белорусские каолины указанных месторождений являются огнеупорным сырьем, т. к. показатели их огнеупорности составляют 1620–1750 °С (для природных) и 1710–1780 °С (для обогащенных проб).

Исследована спекаемость природных и обогащенных каолинов в интервале 1100–1500 °С и установлено, что процессы массопереноса и уплотнения структуры более активно протекают в образцах обогащенных каолинов, т.к. в них практически отсутствуют примеси кварца, препятствующего спеканию. Это подтверждают данные дифференциально-термического анализа, показывающего, что все эндо- и экзотермические эффекты на кривых ДСК обогащенных каолинов выражены интенсивнее по сравнению с их природными аналогами. С помощью высокотемпературного микроскопа определены деформационные характеристики каолинов в интервале 100–1400 °С и установлены характеристические точки: начала спекания (1360 °С – природный каолин, 1225 °С – обогащенный), начала размягчения за счет образования жидкой фазы (1362 °С у обогащенных, выше 1400 °С – природных каолинов), а также сопровождающие их усадочные явления. Фазовый состав природных каолинов характеризуется максимальным содержанием глинообразующих минералов (каолинита и гидрослюда) в тонкодисперсных фракциях (< 0,005 мм). Количественное соотношение примесных фаз (кварца и микролина) значительно изменяется в зависимости от размера частиц породы. Установлено изменение фазового состава образцов каолинов в процессе термической обработки в интервале 1100 – 1400 °С. Муллит в обогащенных каолинах формируется при более низких температурах, чем в природных, при этом выделяется кристобалит. Наличие железосодер-

жащих фаз – гематита и фаялита характерно только для образцов природных каолинов.

Таким образом, получены сведения о процессах, протекающих при термической обработке отечественных каолинов, и указывают на их возможное применение для производства огнеупорных материалов.

УДК 541.1 + 621.785.36 + 621.78.011

Л.А. Башкиров, проф., д-р хим. наук;
Е.К. Южно, асп.
(БГТУ, г. Минск)

**КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА,
ИК-СПЕКТРЫ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ
ИНДАТА ЛАНТАНА LaInO_3 СО СТРУКТУРОЙ
ПЕРОВСКИТА, ЛЕГИРОВАННОГО
ИОНАМИ Nd^{3+} , Cr^{3+} , Mn^{3+}**

Твердофазным методом из оксидов La_2O_3 , In_2O_3 , Nd_2O_3 , Mn_2O_3 и Cr_2O_3 проведен синтез твердых растворов $\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x\text{InO}_3$ ($x = 0,007$; $0,02$; $0,05$), $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{In}_{0,995}\text{Cr}_{0,005}\text{O}_3$, $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{In}_{0,995}\text{Mn}_{0,005}\text{O}_3$ и исследованы их кристаллическая структура, ИК-спектры поглощения.

Все полученные образцы являются однофазными и имеют кристаллическую структуру О-орторомбически искаженного перовскита. Параметры кристаллической решетки a , b , c твердых растворов $\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x\text{InO}_3$ ($x = 0,007$; $0,02$; $0,05$) при увеличении x изменяются незначительно. Введение в кристаллическую структуру $\text{La}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{InO}_3$ дополнительно 0,5 мол.% ионов Cr^{3+} или Mn^{3+} практически не влияет на параметры кристаллической решетки, так как концентрация легирующих ионов незначительная.

На ИК-спектрах полученных твердых растворов присутствуют полосы поглощения, относящиеся к валентным колебаниям связей In-O и La(Nd)-O. При увеличении содержания ионов Nd^{3+} от $x = 0,007$ до $0,05$ частоты и интенсивности полос поглощения изменяются незначительно и не очень сильно отличаются от точности их определения ($\pm 2 \text{ см}^{-1}$).

УДК 658.52

В. П. Кобринец, канд. техн. наук, доц.; Д. Н. Пронин, магистрант
(БГТУ, г. Минск)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СУШКИ В БАРАБАННЫХ СУШИЛКАХ ПО ДИНАМИЧЕСКИМ КАНАЛАМ УПРАВЛЕНИЯ

Процессы тепло- и массообмена (влагообмена) в барабанной сушилке зависят от ее конструктивных характеристик (размеров, числа и профиля лопаток и т. д.), а также от технологических параметров (числа оборотов барабана, угла наклона аппарата, расхода, температуры и влагосодержания воздуха и материала на входе в сушилку). При определении динамических свойств данного аппарата считаем его конструктивные характеристики неизменными. Таким образом, в качестве возмущающих воздействий (входных величин) принимаем изменения расхода, температуры и влагосодержания материала и воздуха на входе в сушилку.

При составлении математической модели барабанной сушилки были сделаны следующие основные допущения:

1. Теплоемкости материала, влаги (воды) и барабана и коэффициенты теплоотдачи от воздуха к материалу и барабану постоянны по длине и в поперечном сечении сушилки, а также во времени.

2. Температура и влагосодержание материала распределены по длине аппарата и сосредоточены в его поперечном сечении (одномерная задача), так как при вращении барабана материал хорошо смешивается.

3. Температура барабана в статике равна температуре воздуха на выходе из сушилки

При составлении уравнений сохранения энергии для воздуха и материала учитывали тепло, затраченное на нагрев «сухого» материала, поскольку тепло, переданное воздухом материалу и затраченное на испарение влаги из него, возвращается обратно в воздух вместе с испаренной влагой. Для разработки математической модели процесса сушки с учетом распределенности параметров с учетом приведенных допущений были составлены следующие дифференциальные уравнения: сохранения энергии для воздуха, сохранения массы для влаги в воздухе, сохранения энергии для материала, сохранения массы для сухого материала, сохранения массы для влаги в материале, сохранения энергии для сушильного барабана. На основании данных уравнений получена система нелинейных уравнений в частных производных. Проведена линеаризация данной системы и получена математическая модель процесса сушки по основным динамическим каналам.

УДК 546.62

Л. С. Ещенко, д-р техн. наук, проф.;

Е. В. Лаевская, асп. (БГТУ, г. Минск);

Е. В. Коробко, д-р техн. наук, проф.; З. А. Новикова, науч. сотр.

(ИТМО НАН Беларуси, г. Минск)

ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ОРТОФОСФАТОВ АЛЮМИНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ СТРУКТУРЫ

Средний фосфат алюминия существует в виде кристаллогидратов в двух модификациях (орторомбической (варисцит) и моноклинной (метаварисцит)). Вследствие специфического энергетического состояния молекулы кристаллогидратной воды в $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, они могут приобретать способность диссоциировать под действием электрического поля с образованием подвижного протона, обуславливая тем самым поверхностную протонную проводимость. Как известно, наличие такого типа проводимости определяет электрореологическую активность гидратированных соединений. В данной работе исследовалась электрореологическая активность ортофосфатов алюминия двух модификаций.

Ортофосфаты алюминия получали кристаллизацией из алюмофосфатных растворов, содержащий 12 и 380 г/л P_2O_5 , при 100°C в течение 48 часов, после чего их отфильтровывали, промывали и дегидратировали при 90°C до постоянной массы. Согласно химическому анализу, состав полученных продуктов отвечал формулам $\text{AlPO}_4 \cdot 0,6\text{H}_2\text{O}$ (орторомбическая модификация) и $\text{AlPO}_4 \cdot 0,7 \text{H}_2\text{O}$ (моноклинная). Данные соединения служили дисперсной фазой электрореологических суспензии (ЭРС), а дисперсионной средой – трансформаторное масло. Измерение вязкости и плотности тока осуществляли с помощью ротационного вискозиметра «Rheotest 2.1».

Показано, что прирост вязкости для ЭРС на основе $\text{AlPO}_4 \cdot 0,6\text{H}_2\text{O}$ составил $\tau_E/\tau_{E=0} = 9$, а для $\text{AlPO}_4 \cdot 0,7 \text{H}_2\text{O}$ – 48, значение плотности тока 2,0 и 10,0 мкА/см², соответственно. Такое поведение исследуемых образцов в электрической поле может быть обусловлено различной степенью протонизации молекул воды и подвижностью носителей заряда, что объясняется отличием в энергетическом состоянии O_mH_n -группировок в варисците и метаварисците. Согласно ИК-спектрам и литературным данным, в составе метаварисцита молекулы H_2O нагружены сильной водородной связи, в составе варисцита часть молекул воды, не участвует в образовании водородных связей, поскольку находится в диссоциированном виде. Наблюдаемая электрореологическая активность метаварисцита в 1,2–1,3 раза выше активности кислого фосфата алюминия.

УДК 661.833

А.Ф. Минаковский, доц., канд. техн. наук;
О.Б. Дормешкин, проф., доктор техн. наук;
В. И. Шатило, доц., канд. техн. наук;
О.И. Ларионова, магистрант; А.С. Орёл, студ.
(БГТУ, г. Минск)

КОМПЛЕКСНЫЕ НРК-УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ БЕСКИСЛОТНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НИЗКОСОРТНЫХ ФОСФОРИТОВ

В течение последних лет в Республике Беларусь существенно осложнилась ситуация с поставками высококачественного фосфатного сырья. Кроме того существующее в республике на ОАО «Гомельский химический завод» производство фосфорных и комплексных удобрений, основанное на кислотных методах переработки фосфатного сырья, приводит к образованию больших объёмов экологически опасных отходов – фосфогипса и летучих соединений фтора. Выходом из данной ситуации может стать разработка и внедрение бескислотных технологий переработки низкосортных доступных по стоимости фосфоритовых руд.

Целью работы являлось получение комплексных удобрений на основе бескислотной переработки низкосортных фосфоритов – Вятско-Камского (РФ) и Каратауского (Казахстан) месторождений следующими способами: механохимической активацией фосфоритов в смеси с минеральными добавками; обработкой фосфоритов (механически активированных и неактивированных) водными растворами солей $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, KCl .

В ходе проведения исследований авторами решены следующие задачи: изучено влияние различных добавок на содержание усвояемой формы фосфора при механохимической активации фосфатно-солевых композиций и при взаимодействии фосфоритной муки (активированной и неактивированной) с водными растворами солей; изучены физико-механические свойства полученных удобрений.

Установлено, что при механохимической активацией смеси $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и KCl с изучаемыми фосфоритами содержание усвояемой формы фосфора повышается в 1,8 – 2,2 раза, а при использовании добавок $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ и KCl – в 1,2 – 1,5 раза. При использовании активирующих добавок в виде водных растворов относительное содержание усвояемой формы фосфора повышается на 11–50 отн. %.

Основные физико-механические свойства изучаемых удобрений – гигроскопическая точка и статическая прочность гранул соответствуют требованиям действующего стандарта.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Сарока В. В., Оробей И. О., Лихавицкий В.В.</i> Измеритель характеристик магнитного поля для систем управления.....	3
<i>Лането А.В.</i> Применение интервальной оценки при использовании алгоритмов аппроксимации звеньев запаздывания в промышленных системах управления.....	4
<i>Лялько А. А.</i> Сравнительный анализ работы дискретного апериодического и оптимального регуляторов при синтезе систем управления для объектов с запаздыванием.....	5
<i>Овцов С. А., Карнович Д. С., Сарока В. В.</i> Синтез оптимального управления движения портального автооператора для гальванических линий грузоподъемностью до 250 кг.....	6
<i>Шумский А. Н.</i> Разработка адаптивной системы управления БПЛА.....	7
<i>Кобринец В. П., Коровкина Н. П.</i> Применение вентильно-индукторного привода как основа энергосбережения на промышленных предприятиях.....	8
<i>Гринюк Д. А., Ляхов А. А., Другак А. В.</i> Оценка влияния квантования на обработку данных в контроллере.....	9
<i>Гринюк Д.А., Оробей И.О., Сухорукова И.Г.</i> Увеличение точности измерения протечек запорной арматуры.....	10
<i>Гринюк Д.А., Оробей И.О., Олиферович Н.М.</i> Алгоритмы построения измерителей динамики впитывания и анализ их точности.....	11
<i>Гринюк Д.А., Шитик А.М.</i> Экспериментальное определение динамики воздушного теплообменника.....	12
<i>Гринюк Д.А., Олиферович Н.М., Рыжова О.С.</i> О решении уравнения впитывания.....	13
<i>Барашко О.Г.</i> Процедура усиления слабых сигналов в сложных адаптивных системах.....	14
<i>Затюпо А.А., Башкиров Л.А., Великанова И.А., Петров Г.С.</i> Синтез и физико-химические свойства твердых растворов на основе феррита висмута $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$	15
<i>Затюпо А.А., Башкиров Л. А., Дудчик Г.П.</i> Синтез сегнетомагнитного $\text{Bi}_{0,95}\text{La}_{0,05}\text{FeO}_3$ из прекурсора $\text{Bi}_{1,8}\text{La}_{0,2}\text{Fe}_4\text{O}_9$ и оксида Bi_2O_3	16
<i>Матыс В. Г., Поплавский В. В.</i> Исследование устойчивости алюминия и алюминиевого сплава к контактной коррозии в гальванических парах со сталями с защитными металлическими покрытиями.....	17

<i>Кубрак П.Б., Костюкевич А.В.</i> Исследование сорбционных свойств бентонитов для обезвреживания гальваностокосов.....	18
<i>Жарский И.М., Курило И.И., Крышилович Е.В., Харитонов Д.С.</i> Синтез пигментов на основе продуктов переработки ванадийсодержащих промышленных отходов.....	20
<i>Михедова Е.В., Яскельчик В.В., Черник А.А., Жарский И.М.</i> Электрохимическое извлечение меди из промывных вод ванн улавливания в условиях импульсного электролиза.....	22
<i>Клындюк А.И., Красуцкая Н.С., Мацукевич И.В., Чиждова Е.А.</i> Термоэлектрические свойства фазово неоднородной керамики на основе слоистого кобальтита кальция.....	24
<i>Кандидатова И.Н., Баширов Л.А., Першукевич П.П.</i> Фотолюминесцентные свойства твердых растворов $Tb_xLa_{1-x}In_xO_3$ ($x \leq 0,15$).....	25
<i>Ашуйко В.А., Кандидатова И.Н., Новикова Л.Н.</i> Синтез фосфатных пигментов на основе отходов гальванических производств....	26
<i>Богомазова Н.В., Степкова А.С., Черник А.А.</i> Использование селективного прецизионного травления при формировании алюминиевых наноструктур для жидкокристаллических устройств.....	27
<i>Акулич Н.Е., Иванова Н.П., Курило И.И., Жарский И.М.</i> Ингибирующие свойства ванадатов металлов.....	29
<i>Марцуль В. Н., Шепелева Н. И.</i> Сравнение вариантов использования осадков очистных сооружений канализации на основе результатов анализа жизненного цикла.....	30
<i>Маркевич Р.М., Дубовик О.С.</i> Динамика трансформации соединений азота при реализации технологического режима каскадной денитрификации.....	31
<i>Черкес Н.С., Самстыко О.А.</i> Очистка сточных вод гидротермической обработки древесины.....	32
<i>Сапон Е.Г., Марцуль В.Н.</i> Использование электросталеплавильного шлака для очистки сточных вод от фосфатов.....	33
<i>Дубина А. В.</i> Фотокаталитическая очистка сточных вод производства и применения карбамидоформальдегидных смол от формальдегида.....	34
<i>Жарская Т.А., Коротченя Т.С.</i> Использование кубового остатка дистилляции капролактама в производстве строительных материалов.....	35
<i>Козловская И.Ю., Капорилов В.П., Киркора А.В.</i> Сорбционная очистка сточных вод от ионов железа цеолитсодержащими отходами.....	36

<i>Залыгина О.С., Черрасова В.И.</i> Исследование процессов осаждения хрома из отработанных электролитов хромирования.....	37
<i>Самстыко О.А., Черкес Н.С., Кунцевич Е.Н.</i> Сравнительный анализ способов организации водоотведения производства древесноволокнистых плит средней плотности.....	38
<i>Головач А.М.</i> Обезвоживание избыточного активного ила с использованием различных кондиционирующих агентов.....	39
<i>Лисинецкая М.А., Лихачева А.В.</i> Направления использования и переработки отработанных растворов травления черных металлов.....	40
<i>Буко З.В., Лихачева А.В.</i> Исследование сорбционных свойств негидролизующих остатков торфа.....	41
<i>Шибeka Л.А.</i> Сорбционные и электрохимические методы очистки сточных вод от красителей.....	42
<i>Андрижневский А. А., Лукашевич А. Г.</i> Метод анализа теплотехнических характеристик теплообменных поверхностей сложной формы.....	43
<i>Андрижневский А. А., Андрижневский А. Г., Кулик Л. С.</i> Моделирование работы пассивной системы отвода тепла из защитной оболочки азс в режиме термоконвекции.....	44
<i>Володин В.И., Филатов С.О.</i> Тенденции и направления использования теплонасосных систем теплоснабжения.....	45
<i>Володин В.И., Кунтыш В.Б., Филатов С.О.</i> Эффективность тепловых насосов воздух-воздух.....	46
<i>Кунтыш В.Б., Сухоцкий А.Б., Пиир А. Э.</i> Исследование энергетической эффективности применения вихревой интенсификации конвективного теплообмена круглой трубы в продольном потоке воздуха.....	47
<i>Кунтыш В.Б., Сухоцкий А.Б., Фарафонов В. Н.</i> Тепловая эффективность пучка круглых труб с облуненной поверхностью в поперечном потоке воздуха.....	48
<i>Кузьмин В. В., Ершов А. И.</i> Технические способы снижения гидравлических потерь при очистке запыленных газов в циклонах....	49
<i>Калишук Д. Г., Саевич Н. П., Левданский А. Э., Чиркун Д. И., Опимах Е. В.</i> Разработка и испытания опытного образца устройства для стабилизации температурного режима в растворителях сальвинитовой руды.....	50
<i>Левданский Э. И., Левданский А. Э.</i> Об энергосбережении при подборе вентиляторов.....	51
<i>Хвесько Г.М.</i> Вычисление реологических показателей модифицированной древесины.....	52

<i>Павлечко В. Н., Протасов С. К.</i> О полном и полезном давлении радиального нагнетателя.....	53
<i>Боровский Д.Н., Вайтехович П.Е.</i> Определение пусковой мощности ротора вертикальной центробежно-шаровой мельницы.....	54
<i>Гарабажу А. А., Минаковский А. Ф., Боровский Д. Н.</i> Механохимическая активации фосфоритов в измельчителях различного типа.....	55
<i>Францкевич В.С., Дорогокупец А.С.</i> Исследование аэродинамики динамического классификатора с помощью компьютерного моделирования.....	56
<i>Козловский В.И., Вайтехович П.Е.</i> Распределение скоростей суспензии в зоне перемешивания шаровой мельницы с мешалками.....	57
<i>Козловский В.И., Вайтехович П.Е.</i> Эффективность измельчения в шаровой мельнице с наклонными дисками.....	58
<i>Петров О.А.</i> Исследование оборудования для гидродинамической обработки материалов.....	59
<i>Опимах Е. В., Левданский А. Э.</i> Флотирuemость полистирола.....	60
<i>Рачковская Г. Е., Захаревич Г. Б., Лойко П. А., Скопцов Н. А., Юмашев К. В.</i> Прозрачная оксифторидная стеклокерамика, содержащая нанокристаллы Er:PbF_2	61
<i>Левицкий И.А., Позняк А.И., Баранцева С.Е.</i> Керамические массы для майоликовых изделий с улучшенными эксплуатационными характеристиками.....	62
<i>Терещенко И.М., Дормешкин О.Б., Кравчук А.П., Жих Б.П.</i> Одностадийная технология производства теплоизоляционных материалов.....	63
<i>Павлюкевич Ю.Г., Гундилович Н.Н., Дервяго М.В.</i> Микроструктурированная керамика для фильтрации дисперсных систем.....	64
<i>Левицкий И. А., Дяденко М. В., Папко Л. Ф.</i> Получение композитных стеклоцементов на основе свинцоборатных стекол.....	65
<i>Шиманская А. Н., Левицкий И.А., Круковская И.В.</i> Титансодержащие износостойкие глазурные покрытия плиток для полов.....	66
<i>Мечай А. А., Мисник М. П., Гарабажу А. А.</i> Разработка режимов механоактивации цемента для получения теплоизоляционного автоклавного ячеистого бетона.....	67
<i>Бобкова Н.М., Трусова Е.Е., Дамуть А.С.</i> Светорассеивающие стекла для светодиодных светильников.....	68
<i>Полуянович Е.Ф., Левицкий И.А.</i> Улучшение деформационных характеристик плиток для внутренней облицовки стен однократным обжигом.....	69

<i>Павлюкевич Ю.Г., Кравчук А.П.</i> Получение листовых стекол тонких номиналов.....	70
<i>Сергиевич О.А., Дятлова Е.М., Попов Р.Ю., Сушко Д.О.</i> Термические свойства и фазовые превращения при нагревании природных и обогащенных каолинов месторождений РБ.....	71
<i>Башкиров Л.А., Юхно Е.К.</i> Кристаллическая структура, ИК-спектры твердых растворов на основе индата лантана LaInO_3 со структурой перовскита, легированного ионами Nd^{3+} , Sr^{3+} , Mn^{3+}	72
<i>Кобринец В. П., Пронин Д. Н.</i> Разработка математической модели процесса сушки в барабанных сушилках по динамическим каналам управления.....	73
<i>Ещенко Л. С., Лаевская Е. В., Коробко Е. В., Новикова З. А.,</i> Электрогеологическая активность ортофосфатов алюминия в зависимости от их структуры.....	74
<i>Минаковский А.Ф., Дормешкин О.Б., Шатило В.И., Ларионова О.И., Орёл А.С.</i> Комплексные НРК-удобрения на основе бескислотной переработки низкосортных фосфоритов.....	75