

**Секция
ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ
И ТЕХНИКИ**

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
ЩЕЛОЧНОГО ОБЕЗЖИРИВАНИЯ И ПРОМЫВКИ
В ТУННЕЛЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ
ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЯ**

В начальной стадии любого процесса окрашивания производится предварительная обработка поверхности. Это самый трудоемкий и продолжительный процесс, которому часто не уделяют должного внимания, однако который является необходимым условием получения качественного покрытия. Подготовка поверхности предопределяет качество, стойкость, эластичность и долговечность покрытия, способствует оптимальному сцеплению порошковой краски с окрашиваемой поверхностью и улучшению его антикоррозийных свойств.

Участок процесса предварительной обработки состоит из туннеля предварительной подготовки, в котором находятся зона щелочного обезжиривания, которая состоит из 3 ванн (1 ванна щелочного обезжиривания и 2 ванны промывки).

Поддержание требуемых параметров для ванн:

- ванна щелочного обезжиривания ($T=35-45^{\circ}\text{C}$, $\sigma=54-57\text{мСм}$, $l=1.5\text{ м}$);
- ванны промывки (1 ванна промывки $\sigma=05-22\text{мСм}$; 2 ванна промывки $\sigma=05-09\text{мСм}$).

Регулирование температуры раствора в ванной происходит посредством регулирования клапана (M_2) подачи горячей воды в теплообменники. Регулирование проводимости раствора происходит путём включения/выключения насос (M_1) для подачи химического реагента. Регулирование уровня раствора в ванной происходит по средствам регулирующего клапана (M_3), который подает низко концентрированный раствор из соседней ванны промывки, тем самым компенсируя унос щелочного раствора алюминиевым профилем, из ванны щелочного обезжиривания в ванну промывки. Регулирование проводимости раствора в ваннах промывки происходит путём включения/выключения насос (M_4) для подачи промышленной воды.

Алюминиевый профиль поступает в туннель предварительной подготовки поверхности на подвесном конвейере. Проходя по туннелю со скоростью 1.5 м/мин, на него каскадом сверху податься щелочной раствор. Исходя из технологической схемы процесса, описанной выше, можно составить схему материальных потоков и их информационных переменных рисунок 1.

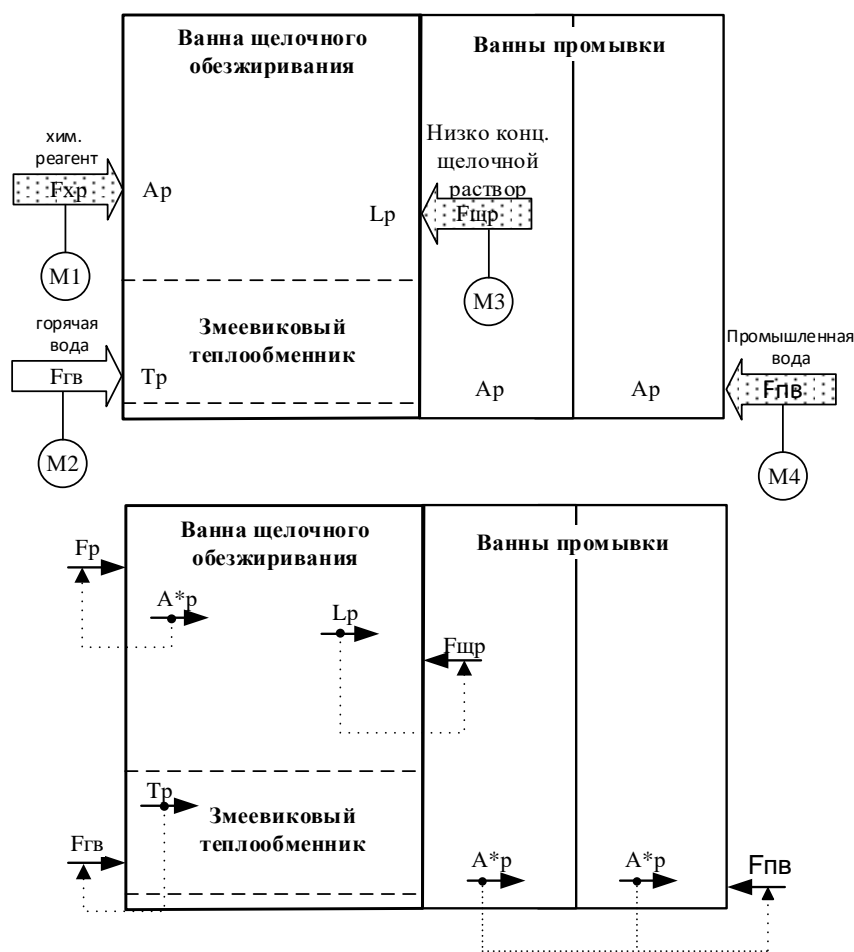


Рисунок 1 – Схема анализа материальных потоков и их информационных переменных процесса щелочного обезжиривания алюминиевых профилей

Дозирование жидкости для корректировки проводимости промывочных растворов осуществляется дозирующими насосами через определённый промежуток времени, изменение расхода происходит вручную, тем самым увеличивается расход жидкостей и уменьшается точность корректировки. Также контроль уровня растворов в ваннах контролируется вручную. Предлагается модернизация существующей системы управления:

1. С помощью датчиков измерения удельной электрической проводимости, устанавливаемых в ваннах промывки, изменяется режим работы объекта (ванн промывки). Установка этих датчиков позволяет накапливать щелочной раствор в ваннах промывки до определенного показателя, не выходя за нормы технологического процесса. После накопления в ваннах щелочного раствора, превышающего технологические нормы, ванны полностью обновляются, заполняясь промыш-

ленной водой. Частота обновления ванн промышленной водой при функционировании объекта с измененным режимом работы по сравнению с режимом работы объекта до модернизации - снижена, это позволяет экономить щелочной раствор и промышленную воду.

2. Установка датчика уровня и регулирующего клапана позволяет изменить режим работы ванны щелочного обезжиривания, компенсируя унос щелочного реагента притом щелочного раствора из ванны промывки, а также убирает потребность в переливной воронке, что уменьшает расход щелочного раствора, подающегося в ванну.

Одним из основных методов исследования нелинейных систем является метод фазового пространства.

Фазовым называется такое пространство, в котором прямоугольными координатами точки являются величины, определяющие мгновенное состояние системы. Эти величины называются фазовыми координатами системы, их число равно числу степеней свободы системы.

Фазовые координаты могут иметь любой физический смысл (температура, давление, концентрация т.п.). Часто в качестве фазовых координат выбирают выходную переменную $y(t)$ и ее производные по времени. Точка фазового пространства, соответствующая состоянию системы в момент времени t , называется изображающей точкой. Изменению состояния системы со временем будет соответствовать движение изображающей точки в фазовом пространстве по определенной траектории, которая называется фазовой траекторией. Каждому переходному процессу в реальной системе соответствует определенная фазовая траектория в фазовом пространстве и наоборот. Начальные условия переходного процесса определяют координату изображающей точки на фазовой траектории в начальный момент времени. Совокупность фазовых траекторий, соответствующих всем возможным в данной системе начальным условиям, называется фазовым портретом системы.

В нашем случае фазовые координаты имеют физический смысл – электропроводимость щелочного раствора. Координаты особых точек, точек в которых наша система устойчива, были найдены из анализа математической модели и равны:

$(x, y) = (0.052; 0.052)$ - для режима циркуляции текущего раствора;

$(x, y) = (0.022; 0.007)$ - для режима обновления ванн.

Для того что бы построить фазовый портрет системы, в среде Simulink построим две системы ДУ, которые указаны ниже, система уравнений (3.31) соответствует режиму обновления ванн, а система уравнений (3.32) соответствует режиму циркуляции текущего раствора

$$\begin{cases} 0.019 + 0.69y - 1.08x = 0; \\ 0.35x + 0.0002 - 1.08y = 0; \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0.019 - 0.36x = 0; \\ 0.36x - 0.36y = 0. \end{cases}$$

Далее с помощью Simulink построили фазовый портрет системы.

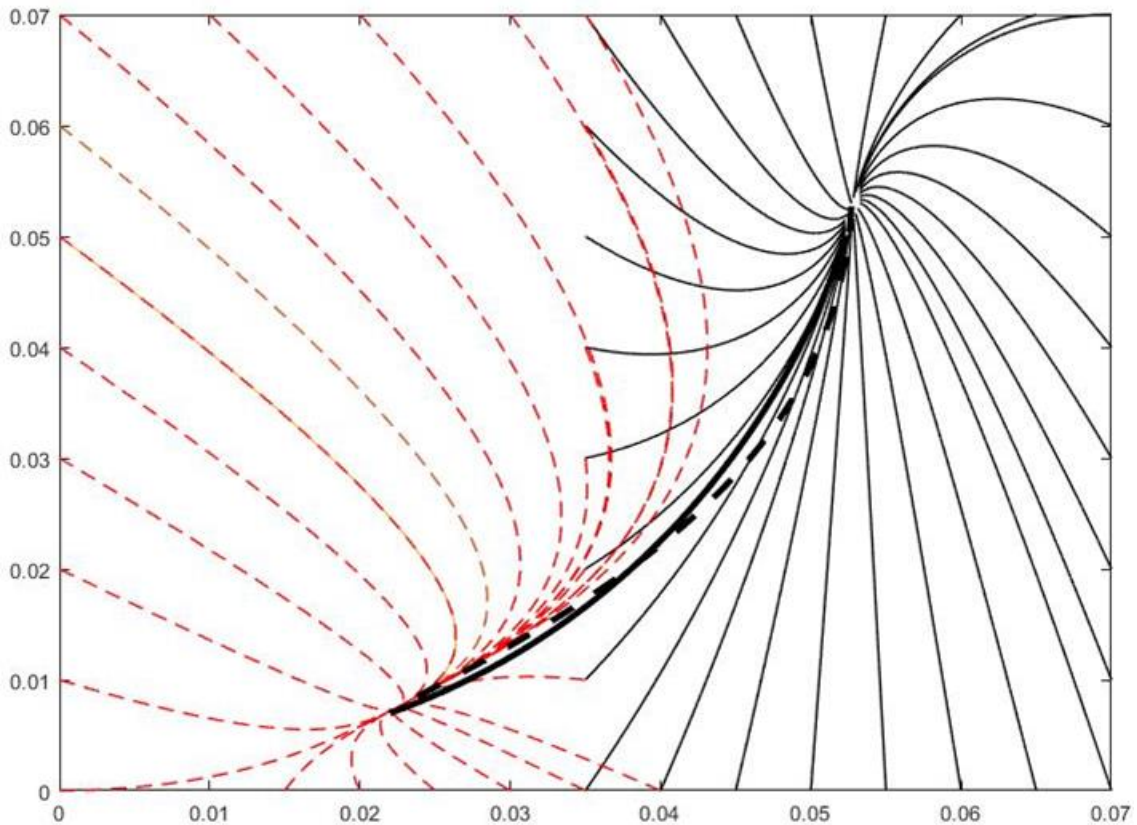


Рисунок 2 – Фазовый портрет системы

На рисунке 2 представлен фазовый портрет системы, состоящий из двух фазовых портретов, которые описывают режимы работы ванн (режим циркуляции текущей жидкости и режим обновления ванн). Оба фазовых портрета, являются типовыми и представлены в виде устойчивого узла. С помощью полученного фазового портрета, можно проанализировать поведение системы, определить критерии ее устойчивости и проанализировать способ управления данной системой.

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ И ПОДХОДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Целью работы является исследование процесса идентификации (распознавания) деталей для контроля качества.

Основные задачи проведенных исследований:

1. Проанализировать методы идентификации деталей на изображении, получаемого из видеопотока цифровой камеры.
2. Исследовать основные группы устройств систем визуального контроля качества продукта.

Важным элементом контроля качества является визуальный контроль продукта. Разнообразие форм предполагает большое количество методов контроля.

Например, самые очевидные из них:

- отсутствие посторонних включений в растворах (частицы, мутность и т. д.);
- форма и состояние поверхности продукта;
- целостность (разрушение, трещины, сколы, царапины и т. д.).

Задача (идентификации) распознавания продукта на изображении может быть сформулирована следующим образом. Имеется некоторая совокупность объектов различных форм, произвольным образом расположенных в пространстве. Известна также начальная форма каждого из возможных объектов в сцене.

Требуется распознать объекты и для каждого определить параметры, такие как размер детали, положения в пространстве.

Первым этапом является этап построения исходной модели сцены. Для построения поверхностной модели объектов может быть использована дальномерная система, определяющая расстояние до точек поверхности объектов, а также может быть использована система умной подсветки (работающая совместно с камерой) для улучшения распознавания. На втором этапе должно быть проведено разделение модели сцены на модели отдельных объектов. Для проведения этого этапа может быть использовано свойство целостности объекта. На третьем этапе происходит понижение размерности пространства задания модели и упрощение группы преобразований. На четвертом этапе вычисляются характеристики, инвариантные к преобразованиям изображений объектов в рабочей модели. На пятом этапе проводится идентификация

объектов по вычисленным признакам. Шестой этап состоит в определении параметров положения объектов, и остальные параметры (размер, цвет и т. д.).

Для выделения детали на изображении могут применяться различные методы распознавания образов: метод сравнения с прототипом; метод дробящихся эталонов; лингвистические (синтаксические или структурные) методы; логические методы; метод k-ближайших соседей; алгоритмы вычисления оценок (голосования); нейросетевые методы.

Нейросетевые методы – это методы, базирующиеся на применении различных типов нейронных сетей. Основные направления применения различных нейронных сетей для распознавания образов и изображений: применение для извлечения ключевых характеристик или признаков заданных образов, классификация самих образов или уже извлечённых из них характеристик (в первом случае извлечение ключевых характеристик происходит неявно внутри сети), решение оптимизационных задач. Используя способность обучения на множестве примеров, нейронная сеть способна решать задачи, в которых явно не определены (априори неизвестны) зависимости между входными и выходными данными. Также методы на основе нейронных сетей имеют такие преимущества как устойчивость к шумам во входных данных, адаптирование к изменениям окружающей среды и потенциальное высокое быстроедействие за счет использования массового параллелизма обработки информации.

Основные группы устройств систем визуального контроля качества продукта: оптический датчик на базе LED или лазера; видеодатчик; система машинного зрения и смарт-камера.

Рассмотрим классическую задачу контроля качества укупорки навинчивающейся крышкой флаконов с жидкостью.

Самое простое решение – установка оптического датчика, с отражателем или без, для контроля высоты флакона. Если крышка не докручена, высота флакона больше номинальной и при проверке такого продукта датчик выдаст сигнал на отбраковку.

Недостатки данного решения очевидны: если крышки нет вовсе, продукт будет признан годным. Оптические датчики выпускают практически все производители базовой автоматики.

Второй уровень решения – установка видеодатчика. Это более сложное устройство, имеющее в своем составе все базовые элементы системы машинного зрения: камера, вычислитель, оптика, подсветка. Теперь на основании полученного изображения мы можем оценить наличие крышки, ее положение, иногда форму – словом, решение о де-

фектации принимается на основе оценки гораздо большего количества параметров и будет более достоверным. Однако стоимость такого датчика существенно выше, а настройка требует определенных навыков. Тем не менее видеодатчики получают все большее распространение благодаря разумному соотношению цены и функциональности в реализации стандартных задач. Популярные производители подобных устройств – Sick, Omron, Cognex и другие компании.

Самое универсальное и многофункциональное решение – системы на базе машинного зрения и интеллектуальные камеры (смарт-камеры), как одна из разновидностей. К особенностям этого уровня устройств относится гибкость в выборе отдельных компонентов и мощность среды программирования или конфигурирования задач визуального контроля. Любая из этих систем содержит уже упомянутые базовые элементы: камеру, оптику, свет, вычислитель и систему программирования/ конфигурирования. Есть различия в конструктивном исполнении. Прежде всего, необходимо выделить класс устройств «все-в-одном» – интеллектуальные камеры (или смарткамеры).

Интеллектуальные камеры

Все компоненты располагаются в компактном, часто защищенном корпусе, что облегчает монтаж такого устройства на производственной линии. Преимущества интеллектуальной камеры:

- 1) компактность (камера, свет и компьютер в одном корпусе);
- 2) удобное средство создания (конфигурации) программного обеспечения;
- 3) встроенные функции анализа изображений;
- 4) масштабируемая функциональность: интеллектуальный считыватель; интеллектуальная камера;
- 5) предобработка изображения и многоядерные процессоры
- 6) интегрированные объективы (от 4.6 до 25 мм, эл. фокусировка) или объективы с c-mount (от 12 до 50 мм)
- 7) калибровка камер и подсветки на заводе (упрощает замену)
- 8) один кабель для подключения с возможностью соединения «в цепочку»
- 9) интеллектуальная подсветка: полностью интегрированная интеллектуальная подсветка; встроенная в камеру или как отдельное устройство; светильник – модульный с электроприводом (отклонение - 40° ... +90°); встроенный контроллер вспышки; точностью управления до мкс (контроль высокоскоростных объектов); нечувствительность к внешней засветке, сверхбыстрая, высокомоощные светодиоды; широкий выбор цветов и сочетаний (белый, красный, синий, зеленый, лимонный, УФ, ИК); управление параметрами во время работы (длительность за-

светки, угол, цвет)

Недостатки интеллектуальной камеры:

- 1) небольшие возможности выбора типа матрицы/камеры (варианты матриц: 1.3, 3.2, 5.0 МПикс);
- 2) ограниченная вычислительная мощность встроенного процессора; невозможность создания многокамерных систем;
- 3) устаревшие технологии (камеры, вычислители).

Совместный анализ систем технического зрения и алгоритмов распознавания образов на изображении, а также основных группы устройств систем визуального контроля позволил сделать следующие выводы:

1. Сочетание системы технического зрения с программным анализом кадра конвейера требует применение специальных алгоритмов.
2. Из всех методов идентификации объектов наиболее перспективными являются методы искусственного интеллекта, в основе которых лежат искусственные нейронные сети.
3. Из основной групп устройств, применимы системы на базе машинного зрения и интеллектуальные камеры, так как они позволяют из готовых модулей сконфигурировать систему для решения задачи распознавания при наименьших затратах.

В ходе дальнейших исследовательских работ планируется рассмотреть методологический подход к решению поставленной задачи на базе искусственных нейронных сетей и сравнить её с другими методами и алгоритмами распознавания, для выделения образа детали на изображении и сравнивая его эталонным образом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ссылка на on-line-статью Машинное зрение и промышленная автоматизация, эффективная комбинация: [Электронный ресурс]. URL: <http://ua.automation.com/content/mashinnoe-zrenie-i-promyshlennaja-avtomatizacija-jeffektivnaja-kombinacija>
2. Ссылка на on-line –журнал Control Engineering Россия февраль 2019:// Техническое зрение: URL: <https://controlengrussia.com/tehnicheskoe-zrenie/>
3. Ссылка на on-line-статью Материалы интегрированное техническое зрение (пленум): [Электронный ресурс]. URL: <https://www.br-event.ru/materials>
4. Аксенов С.В., Новосельцев В.Б. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии). Томск: Издательство научно-технической литературы, 2006

Маг. Н.Н. Бирюкова; студ. Д. И. Скрипко

Науч. рук.: доц. В. Б. Михайлов; зав. кафедрой Д.С. Карпович
(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИКИ КАК РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ

Большинство элементов электро-пневмоавтоматики в результате перемещения и трения имеют локальные градиенты температур в нескольких точках одного элемента. Это приводит к механическим изменениям по размеру движущихся элементов и, как правило, к увеличенному трению в местах изменения размеров элементов, а это, в свою очередь, приводит к увеличению износа и уменьшению срока службы достаточно дорогих (обработанных по высшему классу чистоты поверхности) элементов.

Работа посвящена определению мест повышенного износа в результате перегрева участков элементов пневмоавтоматики и установлению оптимальных режимов работы. Это необходимо для определения минимального износа, увеличения надежности (до выхода из строя) и срока службы.

В работе был исследован пневмокомпрессор Patriot W024-160 предназначенный для питания пневматических магистралей с максимальным давлением 0,6 МПа. Для определения оптимального режима работы компрессора и регулировки его автоматики (пределы давлений) была произведена тепловизионная съемка цилиндров компрессора в процессе работы в различных режимах.

В результате были получены теплограммы поверхности цилиндров компрессора по достижению максимальной равновесной температуры 75,4оС. Съемка велась через каждые 10 секунд. Результаты изменения температуры и ее распределения в головке цилиндров компрессора обрабатывались с помощью программного обеспечения Testo IRSoft. Были получены: теплограммы, гистограммы и профили распределения температурных полей;

Опыты проводились в нескольких режимах работы компрессора:

- 1) в непрерывном режиме до достижения максимальной равновесной температуры 75,4 оС;
- 2) в автоматически управляемом режиме с уставками выходного давления 0,3 МПа, 0,4 МПа, 0,6 Мпа.

Примеры полученных теплограмм распределения температуры в головке компрессора, а также профиль температуры и гистограмма приведены на рисунках 1, 2 и 3.



Рисунок 1 – Внешний вид компрессора

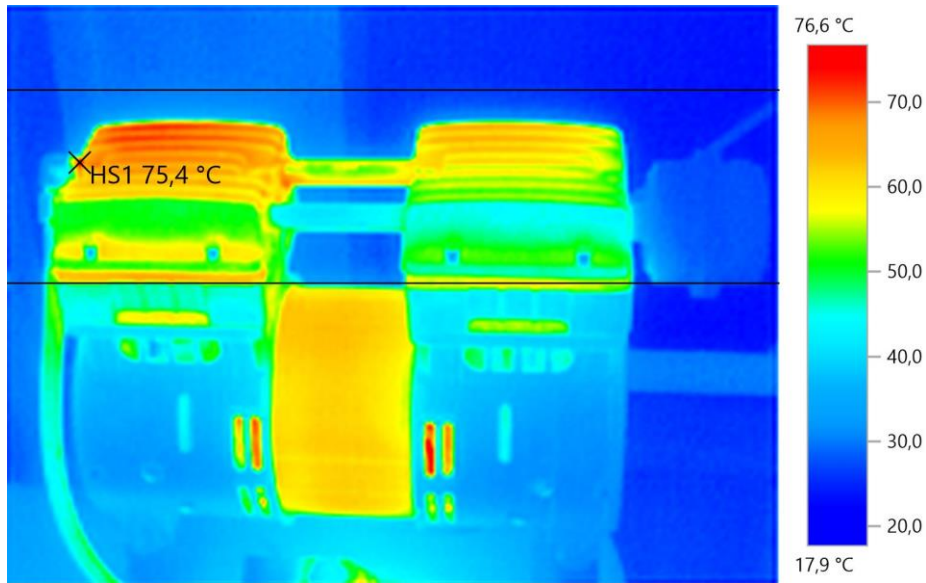


Рисунок 2 – Теплограмма распределения температурного поля компрессора при максимальной температуре 75,4 °C

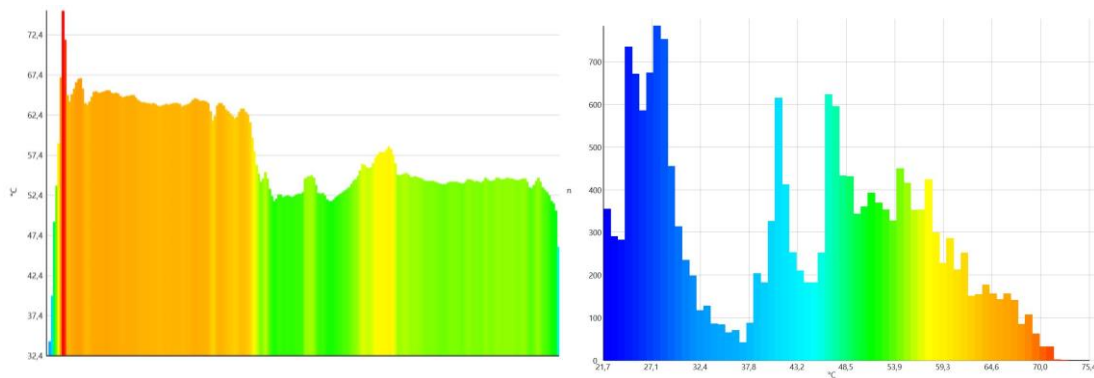


Рисунок 3 – Профиль и гистограмма распределения температурного поля

Как правило, в промышленных компрессорах $K_{ви}$ (коэффициент внутрисменного использования) компрессора находится в пределах от 0,15 до 0,75. При проведении опытов $K_{ви}$ был равен $K_{ви}=0,33$.

Для обработки данных использовали программное обеспечение IRSoft, Excel и Matlab. С помощью программы IRSoft была произведена

обработка полученных теплограмм, а именно, были получены значения температур в каждой точке теплограммы. Данные были переведены в таблицу Excel. Далее, данные были импортированы в Matlab, что позволило получить трехмерные графики распределения температуры. Графики представлены на рисунках ниже.

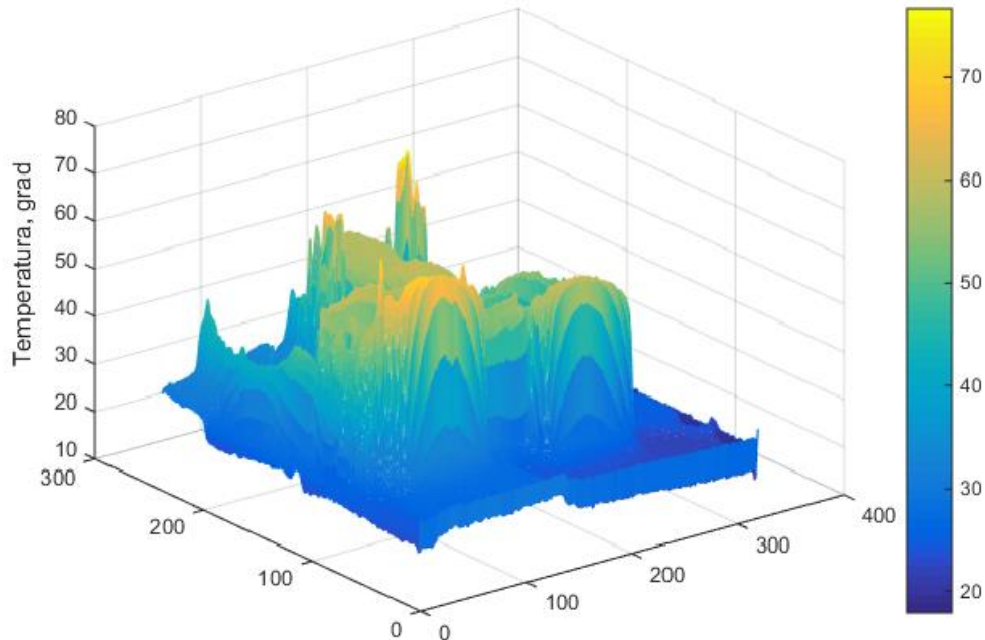


Рисунок 4 – Результат обработки данных для непрерывного режима в момент установления равновесной температуры $T = 75,4^{\circ}\text{C}$ ($t = 435$ сек)

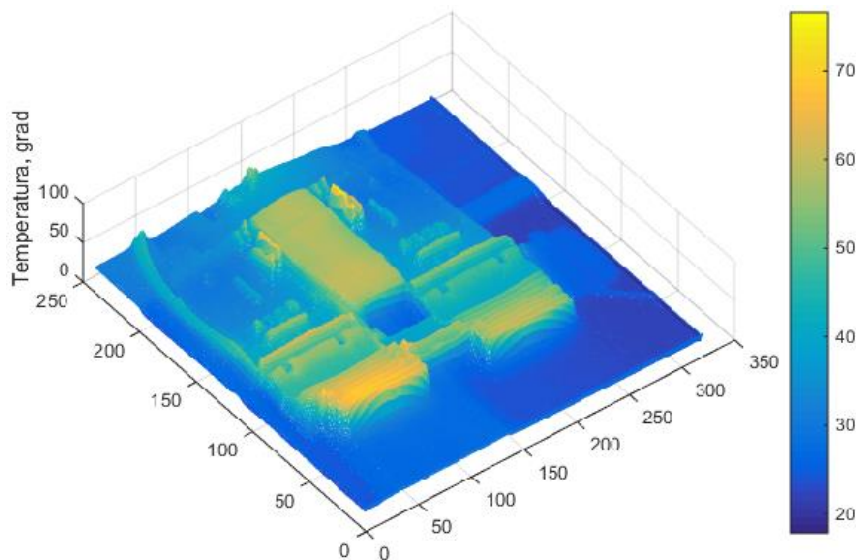


Рисунок 5 – Вид сверху на 4

Изменение температуры от времени представлено на рис. 6.

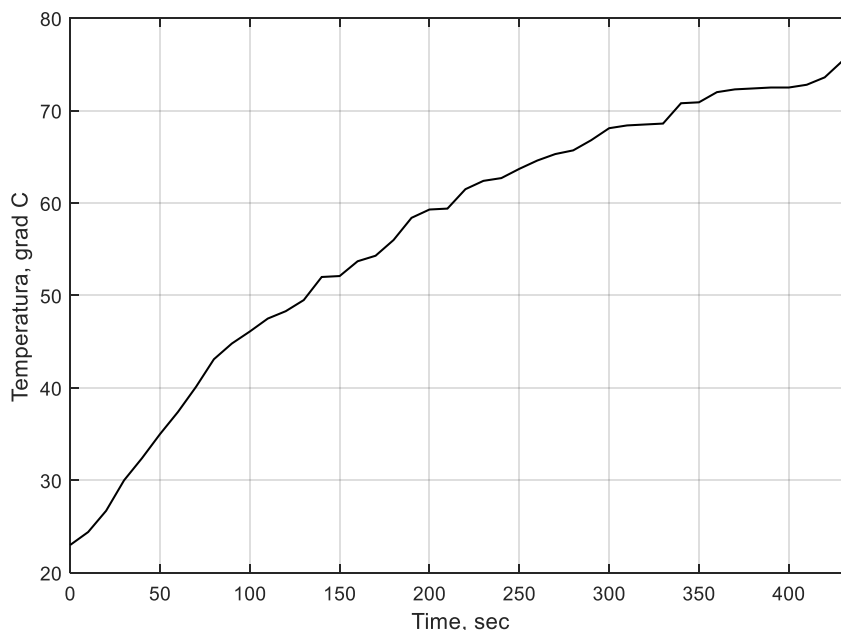


Рисунок 6 – График изменения температуры во времени для непрерывного режима работы компрессора

Анализ полученных данных позволит установить оптимальный, с точки зрения минимизации износа элементов, и наиболее щадящий режим работы компрессора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стефановский Б.С. и др. Конвективная теплопередача к стенкам цилиндрического объема. // Изв. Вузов Машиностроение. - 1976.- № 8, - С.83 –84.
2. Прилуцкий И.К. Метод определения локальных текущих коэффициентов теплоотдачи в элементах ступеней машин объемного действия // Технические газы, №4, 2013. – с. 19 – 26
3. Прилуцкий А.И., Прилуцкий И.К., Демаков А.С. Анализ процессов теплообмена в ступени поршневого компрессора на основе расчетных циклов в $T - s$ и $h - m$ координатах // Компрессорная техника и пневматика. № 1, 2009. – с. 14 – 18.
4. Прилуцкий А.И., Прилуцкий И.К., Иванов Д.Н., Демаков А.С. Теплообмен в ступенях машин объемного действия. Современный подход // Компрессорная техника и пневматика. № 2, 2009. – с. 16 – 23.
5. Прилуцкий И.К., Колеснев Д.П., Бельшева К. А., Маркова П.Ф., Сназин А.А., Молодова Ю.И. Анализ теплового состояния ступени поршневого компрессора // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». № 3, 2014. –с. 24 – 36.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРВАЛЬНОЙ СХОДИМОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ

Коэффициенты в передаточной функции, которые представлены интервальными величинами, характеризуют неопределённость входных данных, эти данные зачастую могут меняться (произошёл механический износ системы управления, изменение внутренних свойств системы управления во время эксплуатации и др.).

Рассмотрим вариант, при котором система уравнений имеет нормальную форму Коши и объект управления описывается уравнением вида:

$$\frac{dX(t)}{dt} = AX(t), \quad (1)$$

где $X(t)$ — n -мерный вектор состояния, A — $n \times n$ - матрица коэффициентов системы.

Устойчивость системы может быть исследована с помощью корней характеристического уравнения, также известно, что система является асимптотически устойчивой, если все корни данного уравнения (2) находятся в левой полуплоскости комплексных корней, имеющие отрицательные вещественные составляющие или отрицательные значения.

$$a_n \cdot \lambda^n + a_{n-1} \cdot \lambda^{n-1} + \dots + a_1 \cdot \lambda + a_0 = 0. \quad (2)$$

В общем виде таблица Гурвица для системы порядка n записывается как:

$$G = \begin{pmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} \dots & 0 & 0 \\ a_n & a_{n-2} & a_{n-4} \dots & 0 & 0 \\ 0 & a_{n-1} & a_{n-3} \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & a_2 & a_0 \end{pmatrix}$$

Устойчивость системы определялась с помощью критерия Гурвица, при котором составлялась матрица из коэффициентов характеристического уравнения. Однако существуют и другие варианты проверки устойчивости системы, например, можно применить функцию Ляпунова в виде

$$V(x) = X^T(t) \cdot Q \cdot X^T(t),$$

где Q — матрица положительных, действительных чисел размером.

Оценка устойчивости полинома с интервальными коэффициентами по методике Харитонована основана на построении четырёх полиномов с граничными значениями коэффициентов. При этом наличие только отрицательных корней или вещественных частей комплексных корней каждого из полиномов является необходимым и достаточным условием устойчивости интервальной системы [1].

При использовании данного метода достаточно из множества угловых матриц интервальной системы, выделить две угловые матрицы, которые будут определять максимальные и минимальные значения.

$$\begin{cases} a_{\min} < a_{\max} \\ b_{\min} < b_{\max} \end{cases} \quad (3)$$

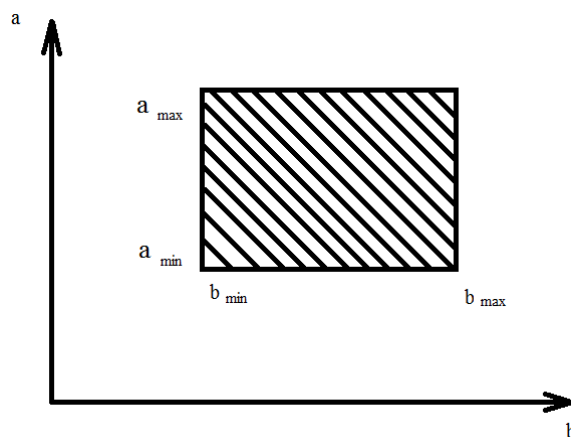


Рисунок 1 – Графическое представление интервальной сходимости по Харитонову

Как правило, принятые критерии удобны для оценки устойчивости при постоянных коэффициентах. Линейные системы являются асимптотически устойчивыми. В случае если коэффициенты неопределенны, т.е. их точные значения находятся в некотором интервале, такой подход становится проблематичным, особенно для матриц большого порядка.

Границы интервалов каждого элемента матрицы характеризуют попадание в них точного значения параметра. При использовании предлагаемого метода достаточно из множества угловых матриц интервальной системы, выделить две оптимальные угловые матрицы, которые определяют минимальное и максимальное значения, соответствующие левой и правой границам интервального определителя. Это достигается выбором границы каждого элемента на основе критерия, представляющего собой минимальное произведение граничных значений элементов интервальной матрицы на их алгебраические дополнения. Выбор границы элемента на основе предлагаемого критерия соот-

ветствует определенному точечному элементу одной из двух искомым оптимальных угловых матриц.

Возьмём передаточную функцию вида:

$$W_{об} = \frac{K_p}{T_2 s^2 + T_1 s + 1}, \quad (4)$$

где $K_p = 4,0963$, $T_2 = 310,5114$, $T_1 = 2132,9456$.

Были получены коэффициенты характеристического уравнения: $a_{\min} = 0,0000134$, $a_{\max} = 589,9774$, $b_{\min} = 0,0000881$, $b_{\max} = 4052,6$.

Передаточная функция устойчивой системы имеет вид:

$$W_{об} = \frac{4,0963}{558,9s^2 + 3839,3s + 1}. \quad (5)$$

Матрица Гурвица имеет вид:

$$G = \begin{bmatrix} 3839,3 & 0 \\ 558,9 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Система по критерию Гурвица устойчива. Если выйти за пределы допустимых коэффициентов, то система окажется неустойчивой. Если взять коэффициент $b_{\min} = -9,9$ система будет неустойчива по критерию Гурвица.

Интервальную сходимость по Харитонову можно использовать и в пространстве состояний. Матрицы передаточной функции будут иметь вид:

$$A = \begin{bmatrix} -6,8691 & -0,0515 \\ 0,0625 & 0 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0,5 \\ 0 \end{bmatrix}; C = [0 \quad 0,4221]. \quad (7)$$

Граничные матрицы при которых система всё ещё устойчива имеют вид:

$$A_{\max} = \begin{bmatrix} -0,687 & -0,05 \\ 0,0625 & 0 \end{bmatrix}; A_{\min} = \begin{bmatrix} -13,0512 & -0,00979 \\ 0,0625 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Передаточная функция устойчивой системы имеет вид:

$$W_{об} = \frac{6,6988}{507,936s^2 + 1457,3s + 1} \quad (9)$$

Матрицы передаточной функции будут иметь вид:

$$A = \begin{bmatrix} -2,8691 & -0,0315 \\ 0,0625 & 0 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0,5 \\ 0 \end{bmatrix}; C = [0 \quad 0,4221]. \quad (10)$$

Матрица Гурвица имеет вид:

$$G = \begin{bmatrix} 1457,3 & 0 \\ 507,936 & 1 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Передаточная функция неустойчивой системы имеет вид:

$$W_{об} = \frac{0,037}{-2,8229 \cdot s^2 + 2132,9 \cdot s + 1}. \quad (12)$$

Матрицы передаточной функции будут иметь вид:

$$A = \begin{bmatrix} 755,597 & 5,6680 \\ 0,0625 & 0 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0,5 \\ 0 \end{bmatrix}; C = [0 \quad 0,4221]/ \quad (13)$$

Матрица Гурвица имеет вид:

$$G = \begin{bmatrix} 2132,9 & 0 \\ -2,8229 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Метод интервальной сходимости по Харитонову в частном случае был проверен и подтверждён, а также проверена возможность использования данного метода в пространстве состояний.

Предлагаемый метод выявления неустойчивости можно отнести к необходимому экспресс-анализу линейных стационарных управляемых систем при наличии неизбежных погрешностей коэффициентов вектора состояния. Предложенный метод, с одной стороны, совместим с оценками устойчивости системы с интервальной матрицей состояния, полученными проф. В. Л. Харитоновым с привлечением аппарата семейства характеристических полиномов, а с другой стороны, открывает новые возможности для исследования широкого класса открытых и закрытых систем управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харитонов В. Л. Об асимптотической устойчивости положения равновесия семейства дифференциальных уравнений // Дифференциальные уравнения. 1978. № 11.
2. Иванова К.Ф. Оценка решения систем линейных алгебраических уравнений с неопределёнными коэффициентами // Материалы X Междунар. науч.-практ. конф. “Фундаментальные и прикладные науки сегодня”, Норт-Чарльстон, Ю. Каролина, США, 26-27 декабря 2016г. Т. 3 С. 101-113.
3. Федюков А.А. Применение средств пакета MatLab для численного решения задач стабилизации по выходу динамических систем с фазовыми ограничениями: Метод. пособие. Нижн. Новгород: Нижегород. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского, 2014. 37 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ FUZZY-РЕГУЛЯТОРОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ БЕСПИЛОТНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Развитие промышленности требует комплексного подхода при разработке САУ техническими объектами. Это обусловлено, с одной стороны, необходимостью повышения качества управления при минимальных затратах на создание и эксплуатацию систем, с другой стороны – усложнением структуры объекта управления, функций, выполняемых им, и, как следствие, увеличением факторов неопределённости, которые необходимо учитывать для управления объектом. На данный момент широко используются «мягкие вычисления», принцип которых заключается в обеспечении приемлемого качества управления, при невысоком уровне затрачиваемых ресурсов, в условиях неопределённости.

Лингвистические переменные, используемые в fuzzy-регуляторе, задаются на количественной шкале, с помощью которой определяются степени соответствия данных рассматриваемым понятиям. Для этого используются функции принадлежности, принимающие значения от 0 до 1. Кроме того, задается набор правил, ставящих в соответствие входной ситуации определённое управляющее воздействие. Эти правила обычно имеют вид «Если ..., то...» [1].

В этой работе введена система эмуляции, автомобиль будет полностью контролироваться с помощью контроллера нечеткой логики (FLC) и технического зрения в том числе искусственного интеллекта и технологии обработки изображений. Предлагаемая система будет успешно и эффективно выполнять все функции водителя автомобиля, включая регулирование скорости, обратный ход и рулевое управление. В дополнение к этому, автономная система предоставляет различные услуги для потребителей, такие как парковка, адаптивный круиз-контроль (ACC), предупреждение о слепых зонах (BSW), изменение полосы движения и определение маршрута, система удержания полосы движения (ЛКА). К тому же, это приведет к более безопасным, приятным и менее напряженным вождению. Эта система будет смоделирована в MATLAB с использованием программной среды Fuzzy Logic Toolbox.

Предлагаемая система управления состоит из следующих основных элементов для максимально эффективного выполнения всех задач при вождении:

- 1) Блок управления нечеткой логикой;

2) ИИ и компьютерное зрение.

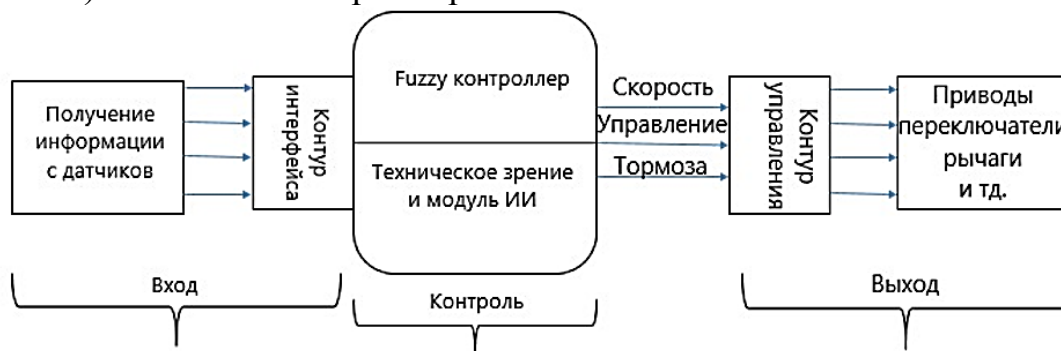


Рисунок 1 – Системно-блочная диаграмма

Блок управления нечеткой логикой: Из-за сложности и нелинейности автономного управления автомобилем, очень сложно спроектировать контроллер с использованием классических методов, в то время как эффективные параметры и входы автономной машины неизвестны. С другой стороны, хорошо известно, что методы нечеткой логики применимы и способны лингвистически описывать сложные системы, и это может использоваться для формулирования и перевода лингвистически выраженного человеческого опыта для соответствующих эффективных стратегий автоматического управления. В этой работе блок FLC предназначен для выполнения большинства функций автономной системы управления автомобилем: торможение, скорость и рулевое управление. Блок FLC разделен на три подсистемы, как показано на рисунке. 2: подсистема автоматического торможения; подсистема регулирования скорости; подсистема рулевого управления.

Это разделение сделано для двух основных целей:

- Упростить моделирование и тестирования; получить более четкий и точный ответ на производительность любой отдельной подсистемы, и для всей системы в целом.
- В маркетинговых целях; разделение дает нам диапазон гибкости при изменении дизайна; каждая из подсистем может быть изготовлена как автономная система.

Подсистема автоматического торможения: Автоматическое торможение – это технология для беспилотных автомобилей чтобы определить и предотвратить возможное столкновение с человеком, препятствием, или чтобы избежать опасности, такой как высокоскоростной подъезд к знаку остановки. Группа датчиков используется для определения других транспортных средств или препятствий, включая: RADAR, LIDAR (обнаружение света и определение дальности), видеокамеры. Наиболее эффективные параметры контроля тормозного уси-

лия:

- Скорость машины: (0 - 60) км.
- Расстояние от препятствий: (0–10) м.

Скорость и безопасное расстояние должны быть выбраны в соответствии правилам дорожного движения и дорожного управления. В этой работе, мы использовали диапазон скоростей (0–60) км/ч, и (0–10) метров как безопасное расстояния между автомобилями.

Подсистема регулирования скорости: Скорость – самая важная и сложная задача, которая контролируется во время вождения; потому что она зависит от многих факторов и параметров. Система контроля скорости — это система, которая автоматически контролирует скорость автомобиля, и эффективные параметры делятся на три подгруппы:

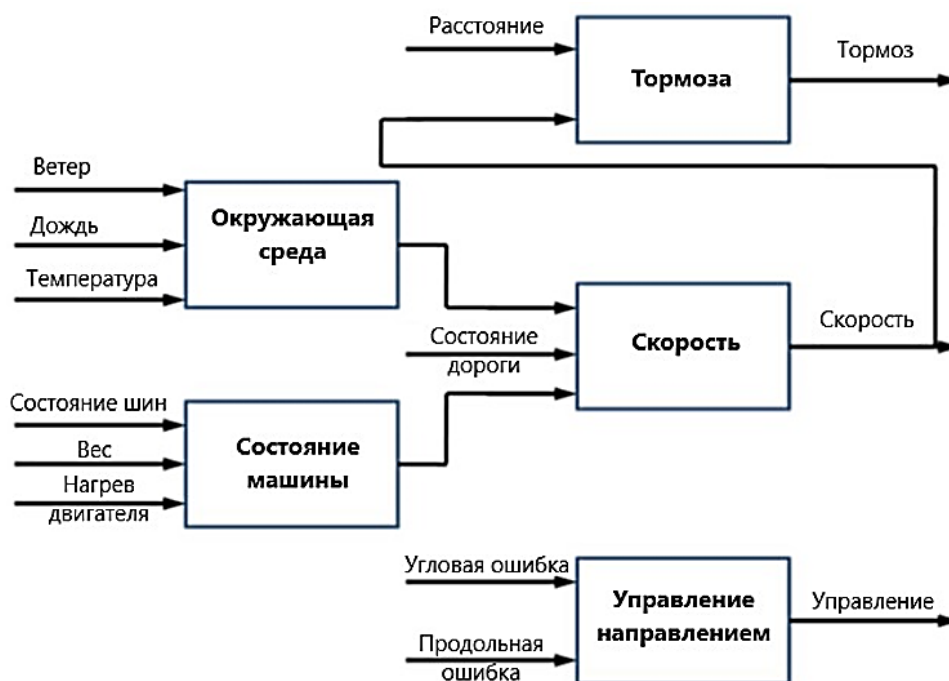


Рисунок 2 – Устройство fuzzy-контроллера

Подсистема регулирования скорости: Скорость – самая важная и сложная задача, которая контролируется во время вождения; потому что она зависит от многих факторов и параметров. Система контроля скорости — это система, которая автоматически контролирует скорость автомобиля, и эффективные параметры делятся на три подгруппы:

А - Условия окружающей среды: количество осадков: (0–200) мм; скорость ветра: (0 - 150) км / ч; температура: (-30–55)°С.

В - Состояние автомобиля: состояние шин: (0–25) фунтов на квадратный дюйм; вес (авто + пассажиры): (1870–1500) кг; обогрев двигателя: (-25–65)°С.

Выбор диапазона параметра «Условия для автомобиля» зависит от вида автомобиля. В этой работе мы выбрали автомобиль-седан в качестве модели.

С - состояние дороги.

Все эти три фактора имеют шкалу от 0 до 10 начиная с плохого состояния / статуса (0) и лучшего состояния / состояние (10). Также автомобиль и условия окружающей среды зависят от группы факторов;

Подсистема рулевого управления: Цель системы рулевого управления – отслеживать траекторию, с помощью ИИ и навигационных элементов. Для управления рулем мы можем определить два параметра:

А - Угловое смещение: (-180–180) градусов. Отрицательный знак означает левое вращение, а положительный знак означает вращение вправо.

Б - Продольный сдвиг: (-1–1) м. Отрицательный знак означает левое смещение, а положительный знак означает правое смещение.

Блок искусственного интеллекта в нашей работе отвечает за подражание человеческому поведению мышления (принятие решения) специально для имитации последовательных и пересекающихся решений. Связанный с другими подсистемами для выполнения определенных работ или таких функции, обгон и обратный ход. Компьютерное зрение также описывают как предприятие автоматизаций и интеграций широкого спектра процессов и представления для восприятия видения, и это представляет собой ядро технология автоматического анализа изображений, которая используется во многих областях. Компьютерное зрение связано с теорией искусственных систем, извлекающие информацию из изображений. Данные изображения могут принимать различные формы, такие как видеопоследовательности, просмотра с нескольких камер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вильданов Р.Г., Бикметов А.Г., Самошкин А.И. Моделирование автоматической системы регулирования с fuzzy-регулятором // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4.
2. Huaguang Zhang Derong Liu. Fuzzy modeling and fuzzy control. 2006. p. 77 106.
3. J. Harris Fuzzy Logic Applications in Engineering. 2006. p. 11 29.
4. Kevin M. Passino, Stephen Yurkovich. Fuzzy Control. 1997. С. 439–472.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ В ОТДЕЛЕНИЯХ УПАКОВКИ И ОТГРУЗКИ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Поддержание заданного температурного и влажностного режима в камерах холодильника достигается работой всей холодильной установки, т. е. холодильной машины и местных камерных приборов охлаждения, установленных в охлаждаемых помещениях. При проектировании холодильной установки и выборе определенной системы охлаждения следует учитывать следующие требования:

Система охлаждения должна быть надежной и гибкой в работе и допускать требуемые переключения машин и аппаратов в случае изменения режима работы, ремонта или аварии.

– должна быть простой и удобной в эксплуатации и не вызывать затруднений у обслуживающего персонала в наблюдении за работой холодильной установки в целом или отдельных ее частей.

– должна быть удобной для автоматизации.

В системе должны быть предусмотрены контрольно-измерительные приборы в количестве, достаточном для постоянного контроля за работой установки.

– должна удовлетворять требованиям правил техники безопасности.

– должна быть экономичной как по первоначальным капиталовложениям, так и в процессе эксплуатации.

На холодильниках применяют два основных способа охлаждения: 1) непосредственное — с помощью кипящего холодильного агента и 2) посредством охлажденного теплоносителя.

В зависимости от условий теплоотвода и конструкций камерных приборов охлаждения различают: 1) трубчатое охлаждение; 2) воздушное охлаждение; 3) смешанное охлаждение.

При трубчатом охлаждении в камерах устанавливают батареи, в которые подают жидкий холодильный агент или теплоноситель. Если охлаждение воздуха происходит вследствие кипения холодильного агента в батареях, расположенных непосредственно в охлаждаемой камере, то такой способ охлаждения называют непосредственным охлаждением, а камерные приборы охлаждения — батареями непосредственного охлаждения.

Охлаждение воздуха может происходить также вследствие

нагрева теплоносителя, поступающего в батареи с температурой на $8\text{--}10^\circ$ ниже температуры охлаждаемого воздуха. Наиболее распространенными теплоносителями являются рассолы (водные растворы солей – хлористого кальция, хлористого натрия, хлористого магния), поэтому такое охлаждение называют рассольным, а местные приборы охлаждения – рассольными батареями.

Трубчатое охлаждение иногда называют тихим, так как в камере устанавливается естественная циркуляция воздуха, вызванная разностью удельных весов теплого воздуха у поверхности груза и холодного – у поверхности охлаждающих приборов.

Воздушное охлаждение камер осуществляется путем предварительного охлаждения воздуха, подаваемого в камеру, в теплообменном аппарате – воздухоохладителе. Холодный воздух из воздухоохладителя нагнетается в камеру, соприкасаясь с продуктом, отепляется, увлажняется и вновь поступает в воздухоохладитель для охлаждения и осушения. Кроме рециркуляционного, в воздухоохладитель может поступать также наружный воздух. Таким образом, осуществляют вентиляцию камер.

Цель процесса – получение заданного температурного ($T_{вв} = 10 \pm 0,5^\circ\text{C}$) и влажностного ($A_{вв} = 75 \pm 2\%$) режима воздуха в отделении упаковки и отгрузки пищевых производств.

Участок упаковки и отгрузки состоит из 8 камер, в каждой камере находятся воздухоохладители потолочные (ВОП). Данный аппарат функционирует в следующих режимах: охлаждения, оттайки, нагрева, сушки.

Режим охлаждения. При повышении температуры влажного воздуха ($T_{вв} = 10 \pm 0,5^\circ\text{C}$) выше заданной с гистерезисом $0,5^\circ\text{C}$, из впускной магистрали через клапан Y1 поступает хладоноситель пропиленгликоль ($T_{х. пг} = -6^\circ\text{C}$). Пройдя через охлаждающую секцию ВОП он отбирает тепло от воздуха и далее через клапан Y2 поступает на линию выпускной магистрали. При достижении температуры воздуха ниже заданной с гистерезисом $0,5^\circ\text{C}$, происходит закрытие клапанов Y1 и Y2 и подача хладоносителя прекращается. После выхода на рабочий режим включается антиконденсатный электронагреватель, предназначенный для предотвращения образования конденсата на внешней поверхности поддона. Поддон предназначен для сбора талой воды.

Режим оттайки. При длительной работе в режиме охлаждения происходит образование льда на охлаждающей секции ВОП. По таймеру (время до вкл. оттайки 120 мин. и время работы оттайки 30 мин.) происходит автоматический останов холодильной установки, закрываются клапаны Y1, Y2, далее подается электропитание на ТЭН трубо-

провода талой воды и электропитание на антиконденсатный электронагреватель в поддоне, после этого из впускной магистрали через клапан Y3 поступает теплоноситель пропиленгликоль ($T_{т. пг} = 60^{\circ}\text{C}$).

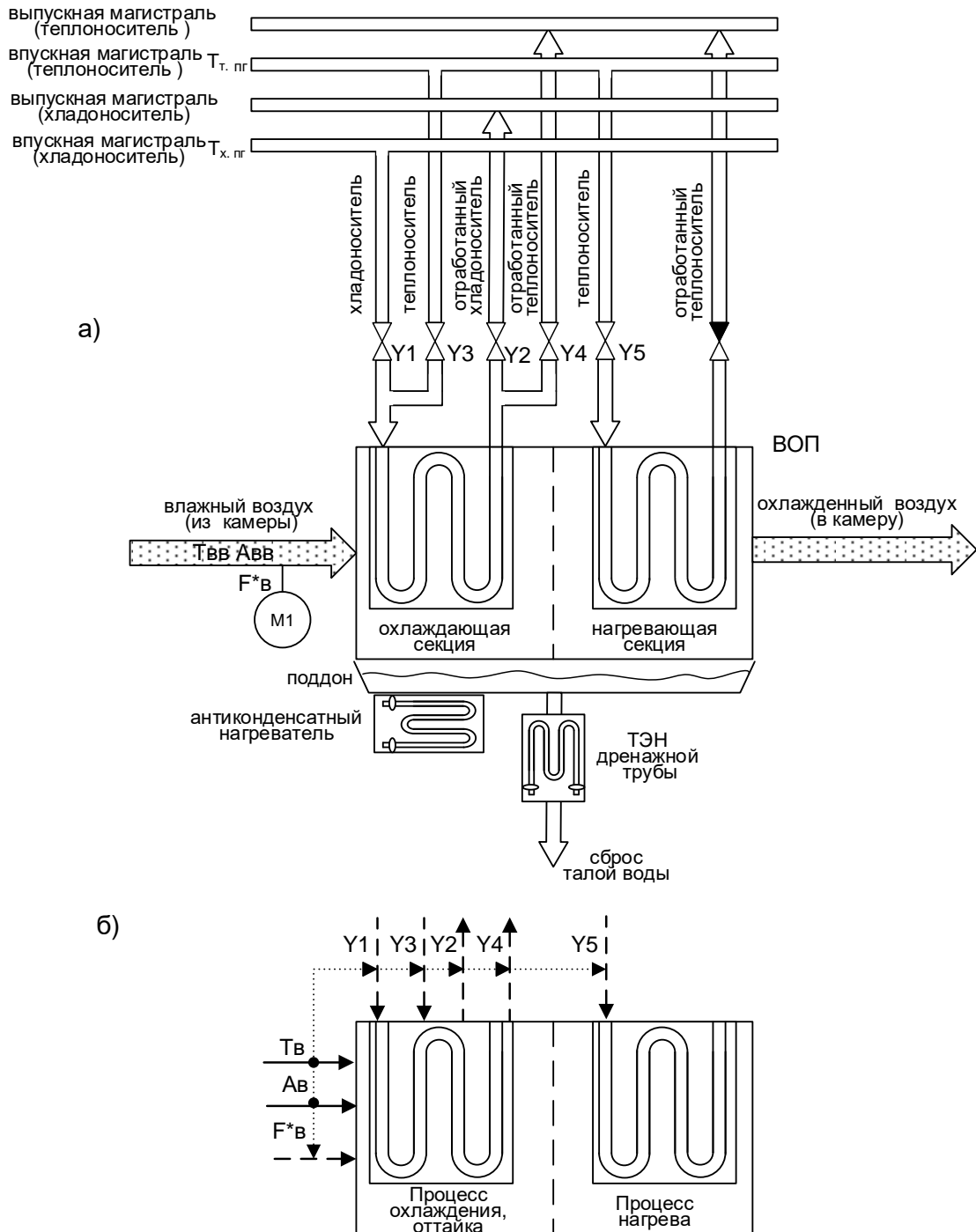


Рисунок 1 – Структура схемы управления

Пройдя через охлаждающую секцию ВОП растапливает намерзший лед и далее через клапан Y4 поступает на выпускную линию маги-

страли. Талая вода стекает в поддон и сбрасывается в канализацию, после чего холодильная установка будет готова к работе.

Режим нагрева. Используется в зимний период. При понижении температуры влажного воздуха ($T_{вв} = 10 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$) ниже заданной с гистерезисом $0,5^\circ\text{C}$, из впускной магистрали через клапан Y5 поступает теплоноситель пропиленгликоль ($T_{т. пг} = 60^\circ\text{C}$). Пройдя через нагревающую секцию ВОП нагревает набегающий воздух и далее через обратный клапан поступает на линию выпускной магистрали. При достижении температуры воздуха выше заданной с гистерезисом $0,5^\circ\text{C}$, произойдет закрытие клапана Y5 и подача прекращается.

Режим сушки. Если уровень влажности воздуха ($A_{вв} = 75 \pm 2 \%$) в камере высокий (выше заданного с гистерезисом 2%), на ВОП происходит переключение с режима охлаждения на режим сушки воздуха, который основан на методе конденсации водяных паров, содержащихся в воздухе, при охлаждении его ниже точки росы. При прохождении через охлаждающую секцию ВОП (управляется клапанами Y1 и Y2) влажный воздух охлаждается до температуры ниже точки росы, а содержащаяся в нем влага конденсируется и дренируется. Далее холодный осушенный воздух проходит через нагревающую секцию ВОП (управляется посредством клапана Y5), где воздух подогревается. Температура воздуха при этом на выходе ВОП приблизительно на $0,5-1^\circ\text{C}$ ниже температуры воздуха на входе.

Благодаря многократному прохождению воздуха через ВОП в режиме сушки воздуха уровень влажности в камере снижается, обеспечивая быстрое осушение, и когда уровень влажности станет ниже заданной с гистерезисом 2% , произойдет выключение режима сушки воздуха (закроется клапан Y5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы автоматизации управления производством / И. М. Макаров, Н. Н. Евтихийев, Н. Д. Дмитриева и др. — М.: Высшая школа, 1983. — 504 с.
2. Рубчинский В. М., Шкроботов В. П. Автоматизация установок кондиционирования воздуха. — М.: ЦНИИТЭпрнборостроения, 1977. — 123 с.
3. Рымкевич А. Ам Халамайзер М. Б. Управление системами кондиционирования воздуха. — М.: Машиностроение, 1977. — 279 с.
4. Сафонов Ак П. Автоматизация систем централизованного теплоснабжения. — М.: Энергия, 1974. — 272 с.

Студ. Д.И. Чакур, В.И. Мурашко
Науч. рук. ассист. Н.М. Олиферович; доц. Д.А. Гринюк
(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

АВТОМАТИЗАЦИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛЕНТОЧНОГО ФИЛЬТРА В ПРОИЗВОДСТВЕ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ

При автоматизации химико-технологических процессов и производств технологическое оборудование оснащается приборами, регуляторами, управляющими машинами и другими устройствами. Для этого тщательно изучается технологический процесс, выявляются величины, влияющие на его протекание, находятся взаимосвязи между ними. В соответствии с заданной целью составляется схема регулирования или управления технологическим процессом. При необходимости ослабления или учета внутренних взаимосвязей, а также повышения качества регулирования используют многоконтурные системы или управляющие вычислительные машины.

Под технологическим процессом понимают совокупность технологических операций, проводимых над исходным сырьем в одном или нескольких аппаратах, целью которых является получение продукта, обладающего заданными свойствами. Технологический процесс, реализованный на соответствующем технологическом оборудовании, называют технологическим объектом управления (ТОУ).

Цель процесса - получение песков гидросгущения хвостов флотации ($A^{\text{влажность}} < 6\%$). Участок ВФЛ состоит из вакуум - фильтра ленточного, отделителя фильтрата, каплеотделитель и вакуум - насоса водокольцевого.

На ВФЛ подается вода на скольжение и уплотнение ($\sim 2 \text{ м}^3/\text{ч}$). Сверху подается суспензия на обезвоживание. По мере прохождения суспензия подвергается процессу фильтрации, за счет действия разрежения, которое создает водокольцевой вакуум - насос. Для нормальной работы водокольцевого насоса необходимо поддерживать расход воды ($\sim 19 \text{ м}^3/\text{ч}$). Так как мелкие частицы остаются на фильтровальной ткани, то для очистки её необходимо подавать рассол (водный раствор KCl и NaCl). Расход рассола необходимо поддерживать на одном уровне, который определяется на этапе наладке оборудования. Мелкие твердые частицы отделяются в после прохождения фильтровальной ткани. Далее излишки попадают в ресивер - уравниватель фильтрата, затем в ловушку, где капли жидкости попадают на стенки и скользит в барометрический стакан. Из ловушки газ с остатками воды выбрасываются в атмосферу. На конце ленты установлены сужающиеся пла-

стины. После ВФЛ установлен отвал с вибродатчиком для контроля присутствия суспензии, откуда калийный идет поступает на ленточный дозатор - формирователь.

Найдем передаточную функцию вакуум фильтра ленточного по уравнению материального баланса фильтрации:

$$G_{cyc} = G_{\phi} + G_{m.oc}$$

где G_{cyc} – вес суспензии, кг; G_{ϕ} – вес фильтрата, кг; $G_{m.oc}$ – вес мокрого осадка, кг.

Заменяем

$$G_{cyc} = \frac{G_{cyx}}{c_1}; G_{\phi} = \gamma_{\phi} V_{\phi}; G_{m.oc} = \frac{G_{cyx}}{c_2};$$

где c_1, c_2 – содержание сухого вещества в суспензии и мокром осадке, кг/кг; γ_{ϕ} – удельный вес фильтрата, кг/м³; G_{cyx} – вес сухого осадка, кг.

$$G_{cyx} \left(\frac{1}{c_1} - \frac{1}{c_2} \right) = \gamma_{\phi} V_{\phi}$$

Откуда

$$C = \frac{G_{cyx}}{V_{\phi}} = \frac{\gamma_{\phi}}{\left(\frac{1}{c_1} - \frac{1}{c_2} \right)}$$

Объёмный вес мокрого осадка γ_0 можно определить из равенства: объём мокрого осадка $V_{m.oc}$ равен сумме объёмов, занимаемых сухим веществом осадка $V_{c.oc}$ и влагой осадка $V_{вл}$

$$V_{m.oc} = V_{c.oc} + V_{вл}, \text{ или } \frac{G_{m.oc}}{\gamma_0} = \frac{G_{cyx}}{\gamma_c} + \frac{G_{вл}}{\gamma_{\phi}}.$$

Но

$$G_{cyx} = G_{m.oc} c_2; G_{вл} = G_{m.oc} (1 - c_2)$$

После подстановки получим:

$$\frac{G_{m.oc}}{\gamma_0} = \frac{G_{m.oc} c_2}{\gamma_c} + \frac{G_{m.oc} (1 - c_2)}{\gamma_{\phi}}$$

откуда

$$\gamma_0 = \frac{1}{\frac{c_2}{\gamma_c} + \frac{1 - c_2}{\gamma_{\phi}}}$$

где $G_{m.oc}$ – вес мокрого осадка, кг; $G_{вл}$ вес жидкости в мокром осадке, кг.

Объём влажного осадка U на фильтре, приходящийся на единицу объёма фильтрата, определяется из уравнения

$$C = U\gamma_0 c_2$$

Толщина осадка на фильтре (при $p = \text{must}$)

$$h_2 = \frac{UV}{F} = \frac{U}{F} \left(\sqrt{V_0^2 + \frac{\tau}{b}} - V_0 \right).$$

Обозначим:

$$\vartheta' = \frac{V}{F}; \vartheta'_0 = \frac{V_0}{F}; b_1 = bF^2 = \frac{\mu r_m C}{2\rho}$$

где r_m – сопротивление осадка на фильтре; ρ – сопротивление фильтрующей перегородки; F – площадь поверхности фильтрования; ϑ_0 – условный объём фильтрата, которому соответствовал слой осадка толщиной h_2 , м³; V – объём фильтрата, м³; $h_{\text{эк}}$ – эквивалентная толщина осадка, сопротивление которого равно сопротивлению фильтрующей перегородки; b – константа уравнения фильтрации.

$$b = \frac{\mu r_m C}{2\rho F^2}; r_m = r'_m p^s; \rho_0 = \rho'_0 p^m \sigma$$

где $\rho_0 r_m$ – удельные сопротивления для фильтрующей перегородки и осадка на фильтре при отсутствии сжатия осадка; m, s – показатели сжатия ткани и осадка.

После преобразования получим

$$h_2 = U\vartheta' = U \left(\sqrt{\vartheta_0'^2 + \frac{\tau}{b}} - \vartheta_0' \right)$$

где ϑ' – объём фильтрата, прошедшего через единицу площади фильтра, м³/м²; ϑ'_0 условный объём фильтрата на единицу площади фильтра в м³/м² соответствующий сопротивлению фильтрующей перегородки.

Преобразуем по Лапласу по времени при условии что $p = \text{must}$:

$$h_2(p) = U \left(\sqrt{\left(\frac{V(p)}{F} \right)^2 + \frac{\tau}{b_1}} - \frac{V(p)}{F} \right),$$

В передаточную функцию “число оборотов двигателя приводного барабана - высота слоя осадка” подставим физические значения:

$$W_O(p) = \frac{h_2(p)}{\omega(p)} = \frac{1}{17,18p + 1}$$

В передаточную функцию возмущения “разряжение в вакуум камере - высота слоя осадка” подставим физические значения:

$$W_F(p) = \frac{h_2(p)}{p_1(p)} = \frac{1}{T_2 p + 1} = \frac{4,112}{4,63 p + 1}$$

После настройки локального контура регулирования можно при-

ступить к расчету компенсатора (рис. 1). Основой расчета подобных систем является принцип инвариантности: отклонение выходной координаты системы от заданного значения должно быть тождественно равным нулю при любых задающих или возмущающих воздействиях. Для выполнения принципа инвариантности необходимы два условия: идеальная компенсация всех возмущающих воздействий и идеальное воспроизведение сигнала задания. Обычно ограничиваются частичной инвариантностью по отношению к наиболее опасным возмущениям.

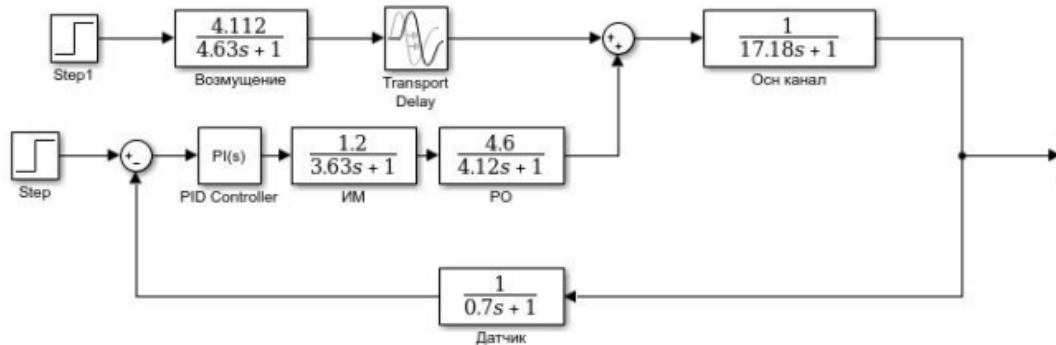


Рисунок 1 – Структурная схема системы стабилизации высоты остатка и канал возмущения

При моделировании системы по возмущающему воздействию, без компенсатора и с компенсатором, получаем переходные характеристики, изображённые на рисунке 2.

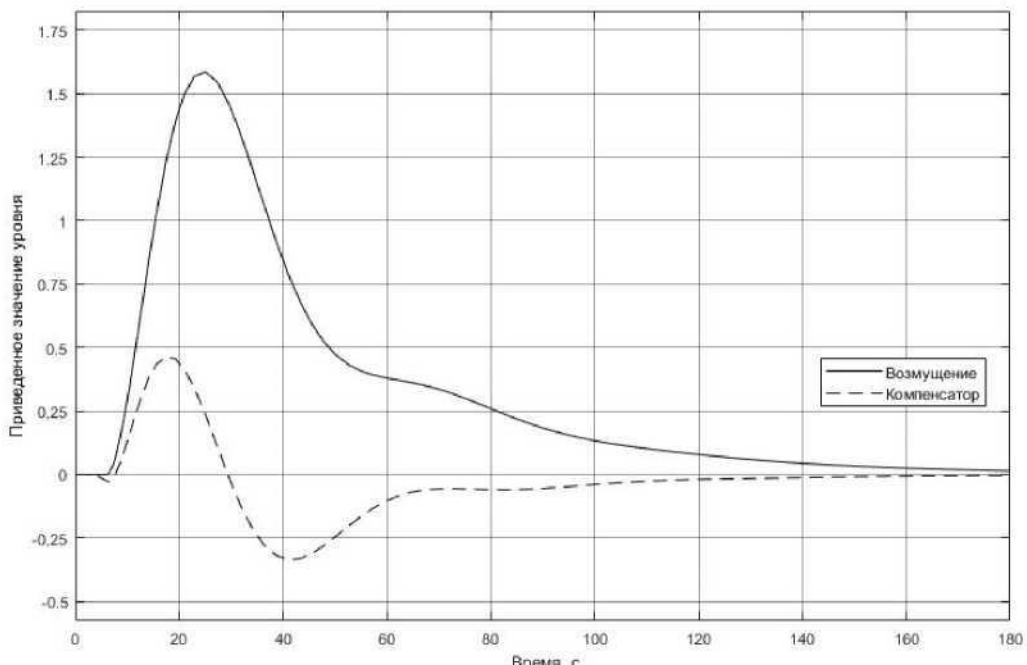


Рисунок 2 – Реакция системы на возмущение без компенсатора и с компенсатором

Студ. В. А. Швейкус, Е.В. Астапчик
Науч. рук. доц. В.П. Кобринец, доц. Д.А. Гринюк
(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОПАРКИ ДРЕВЕСИНЫ

Стремительный рост спроса на бумагу во второй половине 19 века заставил производителей бумаги искать новые источники материалов и разрабатывать новые способы производства бумажного волокна из древесины. В 50-е годы XIX века был разработан первый химический способ варки, который заключался в делигнификации древесины гидроксидом натрия при повышенной температуре (натронная варка). Вскоре на смену натронной варке пришел сульфитный способ варки, запатентованный в 1867 году, поскольку сульфитная целлюлоза была светлее, легче размалывалась, и ее было проще производить, чем натронную целлюлозу. Затем, в 1879 году, немецкий химик Даль изобрел сульфатный способ варки (крафтпроцесс), который позволил производить очень прочные волокна. Однако целлюлоза, полученная этим способом, была гораздо темнее сульфитной целлюлозы, и ее было тяжелее размалывать и отбеливать.

Стадия пропарки древесины является главной стадией в подготовке древесной щепы к варке и включает в себя загрузку древесной щепы в ромбовый бункер щепы, её пропарку и выгрузку из бункера с помощью выгружающего шнека.

Промытая и обезвоженная щепа с помощью питательного шнека поступает в бункер пропарки щепы, в котором происходит удаление воздуха из щепы и нагрев до температуры, оптимальной для осуществления её пропитки химикатами.

Уровень щепы в бункере управляется регулирующим контуром и поддерживается в пределах 75-85 %. Пропарка щепы осуществляется в бункере пропарки щепы вторичным паром давлением 0,15 МПа. Осуществляется регулирование расхода пара. Нижний кольцевой трубопровод обеспечивает пропарку щепы от периферии к центру, а центральная труба от центра к периферии. Такая схема позволяет равномерно пропаривать щепу в донной части бункера.

Температура щепы в нижней части бункера поддерживается регулятором на уровне 100°C. Пропаренная щепа выгружается из бункера дозирующим щепу шнеком. Скорость вращения шнека соответствует производительности производственного потока. Время пропарки щепы составляет 20-30 минут.

Бункер для щепы имеет две основные функции. Первое он обес-

печивает буферный объем для облегчения непрерывной работы варочного котла во время незначительных сбоев подачи щепы в бункер. Он также обеспечивает период задержки, необходимый для надлежащей предварительной пропарки щепы при атмосферном давлении.

Основными функциями предварительной пропарки являются: удаление газов и воздуха из щепы, повышение температуры щепы приблизительно до 100°C и выравнивание влагосодержания щепы. Пропарка вызывает температурное расширение воздуха в древесной щепе, что приводит к частичному удалению воздуха. Она также увеличивает давление паров воды в щепе, что помогает удалению воздуха. Надлежащая пропарка древесной щепы может улучшить подвижность щепового столба.

Для регулирования температурного режима в бункере создана специальная конструкция паровой трубки, которая позволяет нагревать щепу одновременно в двух направлениях:

- от периферии к центру, с помощью нижнего кольцевого трубопровода;
- от центра к периферии, с помощью центральной паровой трубки.

Цель управления пропарки заключается в обеспечении нагревания поступающего твердого материала до заданной температуры.

На температуру щепы влияют несколько возмущений:

- расход щепы на входе в бункер пропарки;
- температура щепы на входе в бункер пропарки;
- расход вторичного пара на входе в бункер пропарки;
- давление вторичного пара на входе в бункер пропарки;
- расход паровоздушной смеси, выходящей из бункера пропарки.

Все эти воздействия оказывают влияние на конечную температуру щепы, выходящую из бункера. Однако большинством из этих воздействий можно управлять или стабилизировать, кроме температуры щепы на входе в бункер пропарки, т.к. щепа подается напрямую из улицы, места ее хранения. На температуру щепы будут влиять погодные условия и температура окружающей среды. Исходя из этого возмущающим воздействием будет: температура щепы на входе в бункер. В качестве регулирующего воздействия — расход вторичного пара.

Найдем передаточную функцию бункера пропарки [2] по уравнению теплового баланса, которое в отклонениях от состояния равновесия будет следующим:

$$\frac{dQ^*}{dt} = Q_{щ}^{ex} + Q_n - Q_{мес} - Q_{щ}^{bx}, \quad (1)$$

где Q^* – количество тепла в щепе внутри бункера, кДж/с; $Q_{щ}^{bx}$, Q_n , $Q_{мес}$

$Q_{щ}^{ввых}$ – расходы тепла соответственно с поступающей щепой, вторичным паром, с уходящей из бункера паровоздушной смесью и уходящей щепой, кДж/с.

$$Q^* = V_p \cdot \rho_{щ}^{ввых} \cdot C_{щ}^{ввых} \cdot \theta_{щ}^{ввых}, \quad (2)$$

где V_p – объем бункера, заполненной щепой, м³; $\rho_{ввыхщ}$ – плотность пропаренной щепы, кг/м³; $C_{ввыхщ}$ – теплоемкость пропаренной щепы, кДж/кг °С; $\theta_{ввыхщ}$ – температура щепы в нижней части бункера, °С.

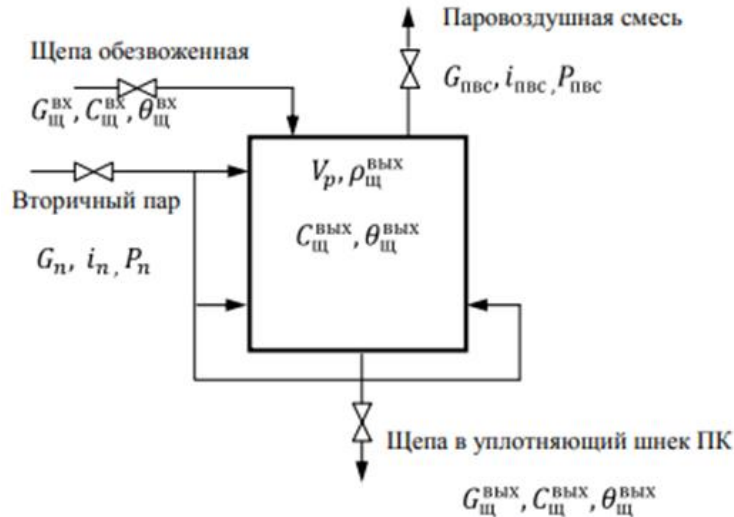


Рисунок 1 – Расчетная схема пропарочного бункера

$$\rho_{щ}^{ввых} = \rho_{др} \cdot \beta_{щ} + \rho_v \cdot (1 - \beta_{щ}), \quad (3)$$

где $\beta_{щ}$ – сухость щепы в бункере; $\rho_{др}$, ρ_v – плотности древесинного вещества (ели или осины) без воздуха и воды соответственно, кг/м³;

$$C_{щ}^{ввых} = C_{др} \cdot \beta_{щ} + C_v \cdot (1 - \beta_{щ}), \quad (4)$$

где $C_{др}$, C_v – теплоемкости древесинного вещества (ели или осины) без воздуха и воды соответственно, кДж/кг °С.

Полагая V_p , $\rho_{щ}^{ввых}$ и $C_{щ}^{ввых}$ постоянными, получим: ,

$$Q^* = V_p \cdot \rho_{щ}^{ввых} \cdot C_{щ}^{ввых} \cdot \theta_{щ}^{ввых}, \quad (5)$$

$$Q_n = G_n \cdot i_n, \quad (6)$$

где G_n – расход пара, кг/с; i_n – энтальпия пара, кДж/кг.

Известно, что

$$i_n = f(P_n), \quad (7)$$

где P_n – давление вторичного пара, МПа.

$$Q_n = i_{n\infty} G_n + G_{n\infty} \frac{\partial i_n}{\partial P_n} P_n, \quad (8)$$

$$Q_{пвс} = G_{пвс} \cdot i_{пвс}, \quad (9)$$

где G_{nec} – расход паровоздушной смеси в вентиляцию, кг/с; i_{nec} – энтальпия паровоздушной смеси, кДж/кг.

Подставляем выражения в уравнение (1) и после преобразований получаем уравнение математической модели в следующем виде:

Преобразуем уравнение по Лапласу по времени, можно получить передаточные данного бункера по каналам:

$$\theta_{uc}^{ex} \rightarrow \theta_{uc}^{blix} :$$

$$W_1(p) = \frac{\theta_{uc}^{blix}(p)}{\theta_{uc}^{ex}(p)} = \frac{k_{\theta_{uc}^{ex}}}{T_{\sigma} p + 1}; \quad (10)$$

$$G_{uc}^{ex} \rightarrow \theta_{uc}^{blix} :$$

$$W_2(p) = \frac{\theta_{uc}^{blix}(p)}{G_{uc}^{ex}(p)} = \frac{k_{G_{uc}^{ex}}}{T_{\sigma} p + 1}; \quad (11)$$

$$G_n \rightarrow \theta_{uc}^{blix} :$$

$$W_3(p) = \frac{\theta_{uc}^{blix}(p)}{G_n(p)} = \frac{k_{G_n}}{T_{\sigma} \cdot p + 1} \cdot e^{-p\tau}; \quad (12)$$

$$G_{nec} \rightarrow \theta_{uc}^{blix} :$$

$$W_4(p) = \frac{\theta_{uc}^{blix}(p)}{G_{nec}(p)} = \frac{k_{G_{nec}}}{T_{\sigma} \cdot p + 1}; \quad (13)$$

$$P_n \rightarrow \theta_{uc}^{blix} :$$

$$W_5(p) = \frac{\theta_{uc}^{blix}(p)}{P_n(p)} = \frac{k_{P_n}}{T_{\sigma} \cdot p + 1}; \quad (14)$$

В качестве канала возмущения «температура щепы на входе в бункер – температура щепы на выходе из бункера» ($\theta_{uc}^{ex} \rightarrow \theta_{uc}^{blix}$), подставив физические значения получим следующую передаточную функцию:

$$W_1(p) = \frac{\theta_{uc}^{blix}(p)}{\theta_{uc}^{ex}(p)} = \frac{0,87}{9049,6p + 1}. \quad (15)$$

В качестве регулирующего канала «расход вторичного пара – температура щепы на выходе из бункера» ($G_n \rightarrow \theta_{uc}^{blix}$), подставив физические значения получим следующую передаточную функцию:

$$W_3(p) = \frac{\theta_{uc}^{blix}(p)}{G_n(p)} = \frac{108.1}{9049.6 \cdot p + 1} \cdot e^{-180 \cdot p}. \quad (16)$$

Студ. К.В. Шульга, А. М. Шилин
Науч. рук.: ассист., М.Ю. Подобед; доц. Д.А. Гринюк
(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СУШКИ В АТОМИЗАТОРАХ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ И ЕГО МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Сушка – один из наиболее распространенных в химической технологии массообменный процесс, осуществляемый в аппаратах – сушилках различных конструкций. На сегодняшний день в химической промышленности наиболее распространены сушильные установки с сушкой горячим воздухом. Такая установка обеспечивает диффузию влаги, то есть ее выход на поверхность изделия и ее дальнейшее испарение и удаление. Быстрое действие установки обеспечивается хорошим теплообменом, качественной вентиляцией и относительно высокой температурой воздуха, при которой производится осушение. Шликер по трубопроводу поступает в промежуточные емкости атолизатора. Отсюда суспензия насосом подается на форсунки атолизатора. Количество форсунок и диаметры их проходного отверстия могут варьироваться, в зависимости от необходимой производительности сушилки и параметров получаемого пресс-порошка. Здесь под давлением происходит распыление поступающего шликера на встречный поток горячего воздуха, подающегося сверху вниз к выходному дымососу. Вода удаляется процессом атолизации (противоточное распыление шликера нагретым воздухом с немедленным испарением воды).

Следует учитывать, что изменение одного параметра сушильной установки, вызывает нелинейные изменения других параметров. Параметры воздуха и гидродинамические условия обтекания воздухом материала по сушильному пространству непостоянны, причем величина отклонений зависит как от конструктивных особенностей сушилки, так и от ее формы, расположения и состояния просушиваемого материала. В процессе сушки, в связи с уменьшением влагосодержания материала, режим сушки самопроизвольно изменяется. Необходимо учитывать сложность массообменных физических процессов, большое число внутренних связей и их взаимное влияние друг на друга.

Атолизатор используют для сушки сыпучих материалов. Для получения динамических характеристик конвективных сушилок аналитическим методом можно использовать структурные схемы связи между собой отдельных параметров сушилок, причем уравнения звеньев этих схем определяют, исходя из уравнений теплового и материального балансов и ряда статических соотношений.

Разработаем математическую модель для процесса сушки керамической плитки.

Уравнение теплового баланса применительно к сушилке непрерывного действия выглядит следующим образом:

$$Q_k = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \quad (1)$$

где Q_1 – расход тепла на испарение влаги; Q_2 – расход тепла на нагрев воздуха; Q_3 – расход тепла на нагрев материала; Q_4 – расход тепла на нагрев транспортных приспособлений; Q_5 – потеря тепла во внешнюю среду.

Расходы тепла на нагрев материала Q_3 и транспортных приспособлений Q_4 в тепловом балансе сушилки играют незначительную роль. Тогда уравнение (1) примет вид

$$Q_k = Q_1 + Q_2 + Q_5, \quad (2)$$

Член Q_k характеризует приток тепла; для определенной точки статической характеристики он будет рассматриваться как неизменный.

Разбивая сушильное пространство на ряд областей с неизменными по пространству параметрами воздуха, получим для Q_1 следующее уравнение:

$$Q_1 = \sum_{i=1}^n B_i (595 + 0,47\theta_i - \theta_{\text{мат}i}), \quad (3)$$

где

$$B_i = -G_{0i} \frac{du_i}{dt}$$

– количество влаги, испаряемое из материала за единицу времени в i – той области сушильного пространства; θ_i , $\theta_{\text{мат}i}$ – температуры соответственно воздуха и материала в i – той области.

После преобразования имеем

$$Q_1 = B(595 + 0,47\theta_I - \theta_{\text{мат}}), \quad (4)$$

где

$$B = \sum_{i=1}^n B_i$$

– полное количество влаги, испаряемое из материала в сушильном пространстве за единицу времени;

$$\theta_I = \sum_{i=1}^n \frac{B_i}{B} \theta_i; \quad \theta_{\text{мат}} = \sum_{i=1}^n \frac{B_i}{B} \theta_{\text{мат}i}. \quad (5)$$

Расход тепла Q_2 на нагрев воздуха зависит от того, из какой области сушильного пространства удаляется отработанный воздух. Если считать, что удаление воздуха производится из всех зон в соответствии с интенсивностью испарения влаги в них, то величина Q_2 для сушильной установки описывается следующим уравнением:

$$Q_2 = Lc(\theta_I - \theta_0), \quad (6)$$

где $c = 0,24 + 0,00047d_0$ – удельная теплоемкость поступающего в сушилку воздуха; θ_0 – температура окружающего воздуха.

В большом диапазоне изменения температур Q_5 следует считать нелинейной функцией температуры воздуха сушильной установки – $Q_5(\theta_1)$.

$$W_1 = \frac{1}{1 + pT_1} = \frac{1}{(1 + Lc + 0,47B_0 + Fk) \left(1 + p \left(4 \frac{G_0(c_0 + u)}{L} \right) \right)}, \quad (7)$$

где L – расход воздуха на горение; B_0 – начальная интенсивность выделения влаги из материала; F – площадь поверхности испарения; k – коэффициент влагопроводности; G_0 – вес материала в сухом состоянии; c_0 – удельная теплоемкость сухого материала; u – среднее влагосодержание материала, %.

$$W_2 = \frac{h_1}{1 + pT_c} = \frac{2b_1\varphi_0}{\theta_0} + a_1(u_0 - u_{p0}) / \left(1 + \frac{p}{A} \right), \quad (8)$$

где b_1 – коэффициент испарения, равный 0,3; φ_0 – относительная влажность воздуха, %; θ_0 – температура свежего воздуха, °С; u_0 – текущее влагосодержание при сушке в нормальных условиях, %; u_{p0} – равновесное влагосодержание при сушке в нормальных условиях, %; A – коэффициент сушки, равный $\xi + k/\beta R$; R – характерный размер просушиваемого материала в м; для пластины при испарении с двух сторон R – половина толщины, β – коэффициент влагообмена, м/с.

W_1 характеризует сушилку как тепловой объект, W_2 характеризует инерционность процесса сушки.

Нужно отметить, что эти передаточные функции получены при указанных допущениях и характеризует свойства объекта САР.

Найдем все необходимые величины для материала, воздуха и газа из технологического регламента и справочника. Подставляя эти значения в соответствующие уравнения, получим передаточные функции сушилки следующего вида:

Передаточная функция по каналу «изменение расхода – расход газа»

$$W_1 = \frac{2,37}{0,5p + 1}. \quad (9)$$

Передаточная функция по каналу «расход газа – температура отходящих газов»:

$$W_2 = \frac{0,45}{150p + 1} e^{-90p}. \quad (10)$$

Произведём синтез каскадной системы:



Рисунок 1 – Структурная схема каскадной САР

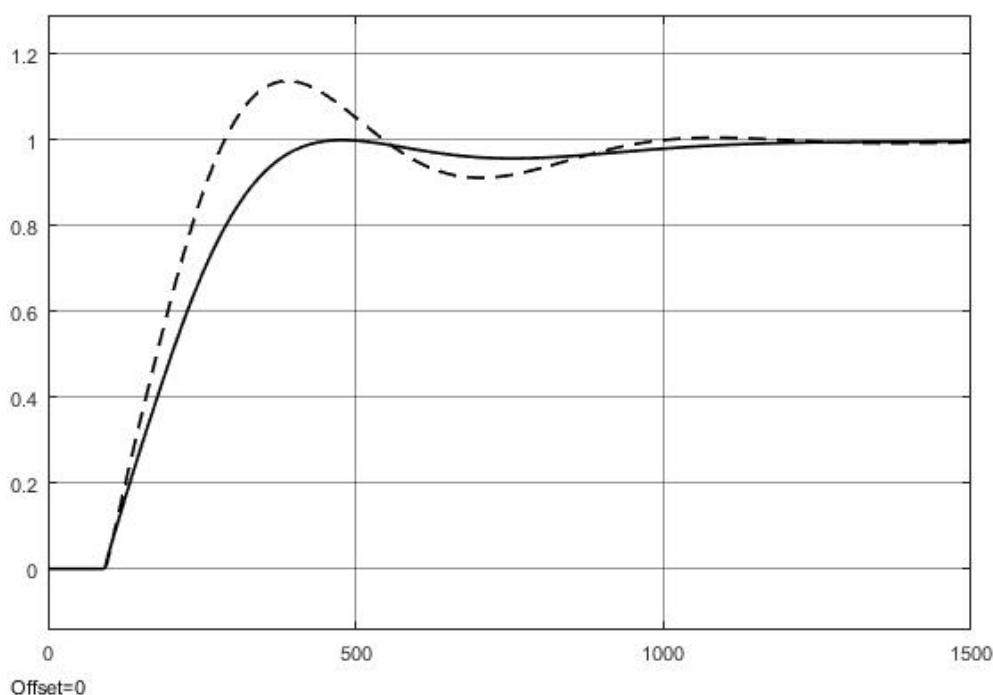


Рисунок 2 – График переходного процесса каскадной САР

Из рисунка видно, что перерегулирование равно $\sigma = 3\%$, $t_{\text{ин}} = 480$ сек, статическая ошибка равна нулю. На основании этого можно сказать, что данный переходной процесс удовлетворяет требованиям регулирования.

Анализ технологического процесса привел к предложению о необходимости модернизации системы и расчета каскадной системы управления в связи с недостаточно точным регулированием температуры отходящих газов. Определены требования к проектируемой системе.

Студ. Д. В. Кузьмицкий, А.Г. Бирюков
 Науч. рук.: доц. В.П. Кобринец; доц. Д.А. Гринюк
 (кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СУШИЛЬНОЙ КАМЕРОЙ НА ООО "АЛЮТЕХ ИНКОРПОРЕЙТЕД"

Огромная производительность современных технологических агрегатов, сложность физико-химических явлений, протекающих в них, и, как следствие этого сложность управления ими обусловили необходимость разработки и применения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП). Разработка АСУТП сопровождается созданием математической модели процесса и алгоритмов управления им с учетом информации, которая получена с помощью измерительных устройств. Следующий немаловажный этап – выбор технических средств и создание программного обеспечения АСУТП.

Управление процессом осуществляется путем воздействий, изменяющих задания основным регуляторам режима: температура, давление в сушильной камере, расход алюминиевого профиля, расход воздуха, расход топочных газов. При этом прогнозирование реакции объекта на управляющие воздействия существенно затруднено из-за взаимосвязей внутри сушильной камеры.

Расход воздуха, поступающего в сушильную камеру, является постоянной величиной. Окрашенный алюминиевый профиль поступает в сушильную камеру с постоянной скоростью.

В основе математического описания процессов, протекающих в сушильной камере, лежит обобщенное уравнение теплового баланса:

$$\Delta Q = Q_{\text{пост}} - Q_{\text{расхода}} ; \quad (1)$$

$$\Delta Q = Q_{\text{сг.газа}} - Q_{\text{дым.газ}} ; \quad (2)$$

$$Q_{\text{пост}} = \lambda \cdot G_{\text{Г}} \cdot \Delta t + c_{\text{В}} \cdot G_{\text{В}} \cdot T_{\text{В}} \cdot \Delta t ; \quad (3)$$

где λ – теплота сгорания сжигаемого газа; $G_{\text{Г}}$ – массовый расход газа; $G_{\text{В}}$ — расход воздуха; $c_{\text{В}}$ – теплоемкость воздуха; $T_{\text{В}}$ – температура воздуха.

Так как величина расхода воздуха, поступающего в камеру является постоянной величиной, то мы не будем ее учитывать.

Теплота отходящим дымовых газов определяется как:

$$Q_{\text{отх.дым.газов}} = G^* \cdot c^* \cdot T_{\text{газа}} \cdot \Delta t ; \quad (4)$$

где G^* – расход дымовых газов; c^* – теплоемкость дымовых газов; $T_{\text{газа}}$

– температура дымовых газов.

$$\Delta Q = \lambda \cdot G_{\Gamma} \cdot \Delta t - G^* \cdot c^* \cdot T_{газа} \cdot \Delta t, \quad (5)$$

$$\Delta Q = \left(A \cdot \frac{dT_{газа}}{dt} \right) = m_{газа} \cdot \rho_{газа} \cdot c^* \cdot \Delta T_{газа}; \quad (6)$$

где $m_{газа}$ – масса дымовых газов; $\rho_{газа}$ – плотность дымовых газов.

Введем обозначение:

$$A = m_{газа} \cdot \rho_{газа} \cdot c^*; \quad (7)$$

$$A \cdot \Delta T_{газа} = \lambda \cdot G_{\Gamma} \cdot \Delta t - G^* \cdot c^* \cdot T_{газа} \cdot \Delta t; \quad (8)$$

$$A \cdot \frac{\Delta T_{газа}}{\Delta t} + G^* \cdot c^* \cdot T_{газа} = \lambda \cdot G_{\Gamma}; \quad (9)$$

$$B = G^* \cdot c^*. \quad (10)$$

Регулируемой величиной в сушильной камере является температура среды $T_{газа}$, на которую воздействуют путем изменения подачи газа G_{Γ} .

$$A \cdot p \cdot T_{газа} + B \cdot T_{газа} = \lambda \cdot G_{\Gamma}; \quad (11)$$

Тогда передаточная функция по каналу «расход газа – температура газа» в относительных единицах:

$$W_1(p) = \frac{T_{газа}}{G_{газа}} = K \cdot \frac{\lambda}{A \cdot p + B} = \frac{K \cdot \frac{\lambda}{B}}{\frac{A}{B} \cdot p + 1};$$

где K – коэффициент для перехода к относительным единицам.

Рассчитаем введенные коэффициенты A и B :

Коэффициент A рассчитываем по формуле (2.7):

$$A = m_{газа} \cdot \rho_{газа} \cdot c^* = 152437,57;$$

где

$$m_{газа} = 148,3 \text{ кг}, \quad \rho_{газа} = 0,950 \text{ кг} / \text{м}^3, \quad c^* = 1,082 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Коэффициент B рассчитываем по формуле (2.10):

$$B = G^* \cdot c^* = 21640;$$

где G^* – расход дымовых газов; c^* – теплоемкость дымовых газов.

Передаточная функция по каналу «расход газа – температура газа»:

$$W_1(p) = \frac{T_{газа}}{G_{газа}} = K \cdot \frac{\lambda}{A \cdot p + B} = \frac{K \cdot \frac{\lambda}{B}}{\frac{A}{B} \cdot p + 1};$$

где λ – теплота сгорания сжигаемого газа ($\lambda = 46$ МДж/кг).

$$W_1(p) = \frac{0,953}{7,044 \cdot p + 1}.$$

Приращение тепловой энергии расходуется на изменение температуры материала.

$$dq_M = C_M \rho_M \frac{dT_M}{dt} dx dy dz dt \quad (12)$$

Записав полную произведенную температуру материала T_M по времени через отдельные производные по времени и координатах движения x, y, z и выполнив преобразования получим:

$$\frac{\partial T_M}{\partial t} = \frac{\lambda_M}{C_M \rho_M} \operatorname{divgrad} T_M - \left(\vartheta_x \frac{\partial T_M}{\partial x} + \vartheta_y \frac{\partial T_M}{\partial y} + \vartheta_z \frac{\partial T_M}{\partial z} \right) \pm \frac{I}{C_M \rho_M}. \quad (13)$$

Рассчитаем передаточную функцию объекта по каналу «температура газа – температура материала»:

$$W_2(p) = \frac{T_M}{T_G} = \frac{F_{Г.М} a^k}{C_M \cdot p + F_{Г.М} a^k} = \frac{1}{\frac{C_M}{F_{Г.М} a^k} p + 1} = \frac{1}{T_2 p + 1}. \quad (12)$$

Постоянная времени полученной передаточной функции:

$$T_2 = \frac{C_M}{F_{Г.М} a^k}.$$

где λ – коэффициент теплопроводности среды; T – температура; ε_G и ε_C – степень черноты стенок печи и газа; T_G и T_C и – абсолютные значения температуры газа и стенок; F – площадь, которая воспринимает излучение; C_G – объемная теплоемкость газа; ρ_G – плотность газа; $\vartheta_x, \vartheta_y, \vartheta_z$ – скорость движения элементарного объема газа в направлении соответствующих координат; g_x – проекция величины ускорения силы тяжести на ось X ; ΔT_G – разница температур двух соседних объемов газа.

Постоянная времени будет равна:

$$T_2 = \frac{127,98 \cdot 10^3 \cdot 4,2}{20 \cdot 100} = 269c.$$

В результате получили передаточную функцию «температура газа – температура материала»:

$$W_2(p) = \frac{1}{269p + 1}$$

Структурная схема внешнего контура регулирования «температура газа – температура материала» представлена на рисунке 3.5:

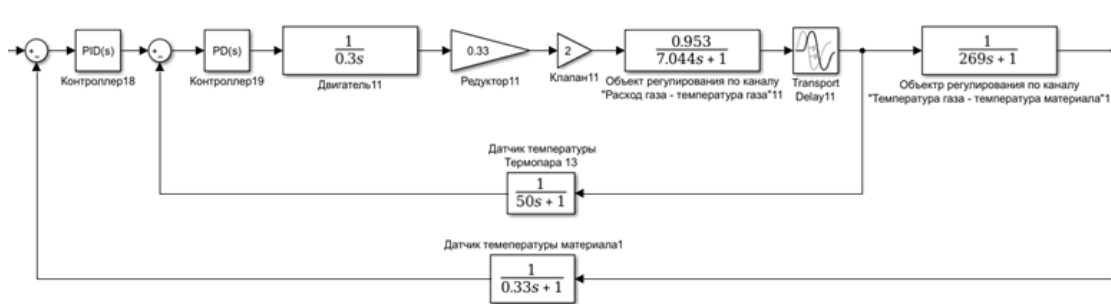


Рисунок 1 – Структурная схема внешнего контура регулирования «температура газа – температура материала»

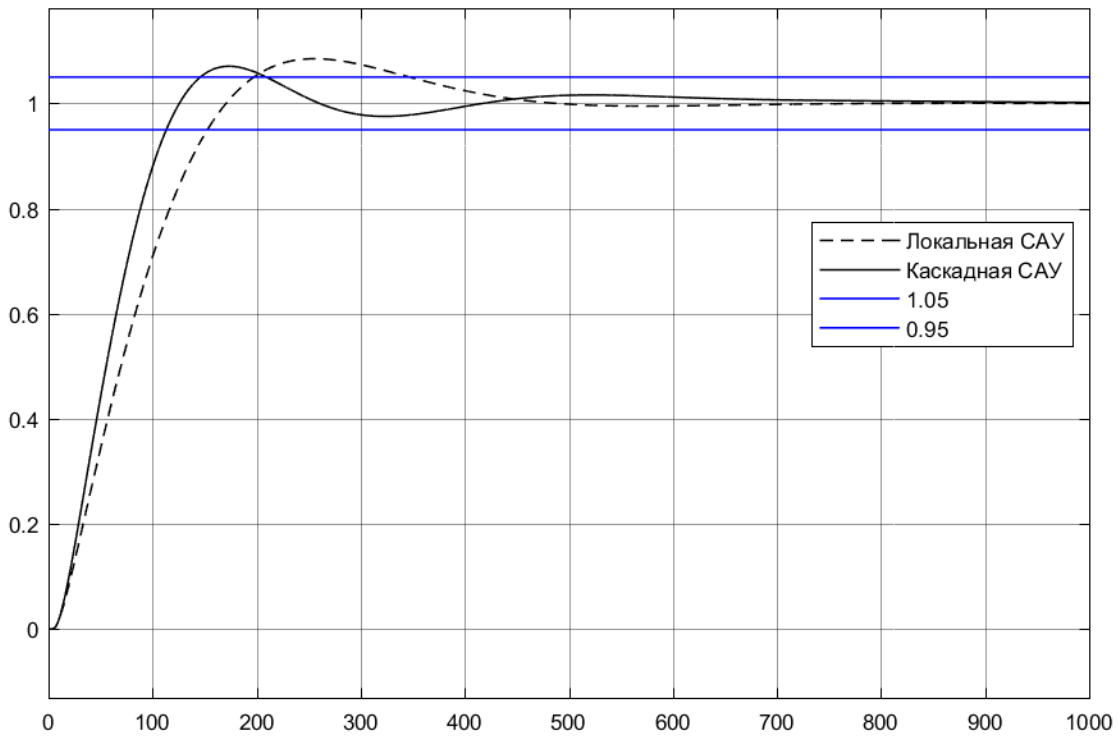


Рисунок 2 – Переходная характеристика локальной и каскадной системы

Как видно из рисунка 2, каскадная САУ обеспечивает более качественный переходный процесс.

Студ. М.Д. Ельшанов, А.А. Гармаза
 Науч. рук.: доц. Д.А. Гринюк; ассист. Д.Е. Сидорчик
 (кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И ПОДГОТОВКИ ВОЗДУХА

Система приточной вентиляции состоит из заслонок воздуха в приточном и вытяжном каналах, воздушных фильтров в приточном и вытяжном каналах, калорифера, роторного теплообменника и двух вентиляторов в приточном и вытяжном каналах.

При построении систем автоматизации производственных процессов определяют технологические параметры, подлежащие контролю и регулированию, а также выявляют точки введения управляющих воздействий и каналы их прохождения по объекту. С этой целью составляют схему взаимных воздействий технологических параметров объекта, выделяют основные и дополнительные каналы прохождения сигнала, а затем выявляют контуры регулирования, компенсирующие колебания технологических параметров на входе аппарата. При необходимости контуры регулирования связывают между собой, и контролируемые величины выбирают так, чтобы их число было минимальным, но достаточным для полного представления о ходе протекания технологического процесса.

Для исключения неопределённости при расчёте автоматических систем регулирования в качестве регулятора принимается его линейная модель со стандартными законами регулирования. Структура автоматической системы управления вентиляцией помещения приведена на рисунке 1.

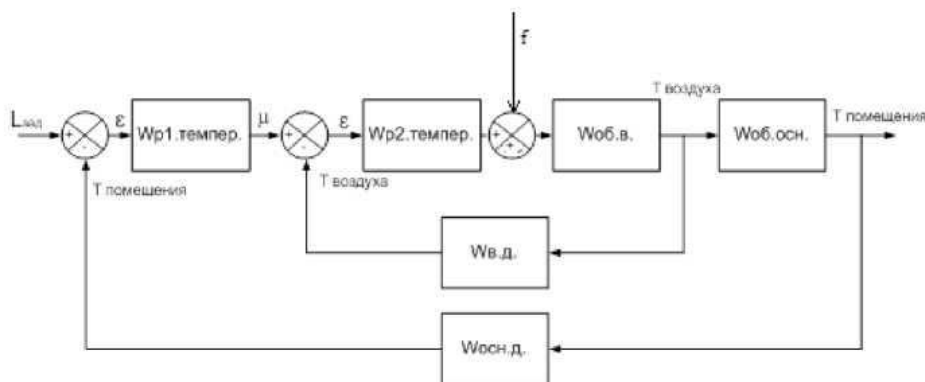


Рисунок 1 – Структурная схема проектируемой системы управления

Математическая модель вспомогательного контура регулирования по каналу «температура теплоносителя - температура после кало-

рифера»

В поверхностных теплообменниках типа «воздух-жидкость», «воздух- хладагент» в качестве возмущающих воздействий выступают температура жидкости на входе t_{WBX} , расход воздуха G_B , температура воздуха на входе t_{BX} рисунок 2. Управляющими воздействиями могут быть расход жидкости G_W , температура жидкости t_{WBX} , расход воздуха G_B , а регулируемый параметр t_{WBYX} .

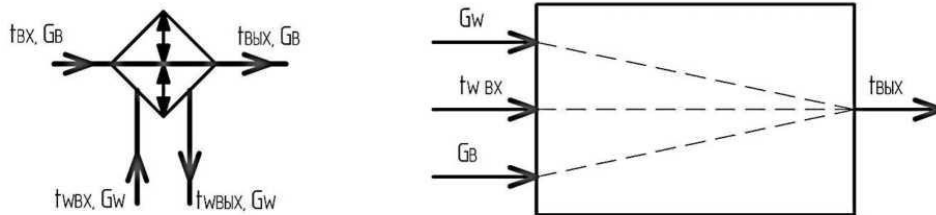


Рисунок 2 – Функциональная и структурная схемы теплообменника типа «жидкость-воздух»

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования показали, что в первом приближении передаточная функция такого аппарата вне зависимости от канала управления описывается типовым аperiodическим звеном первого порядка вида [1]:

$$W(p) = \frac{K}{T_{TO}p + 1}, \quad (1)$$

где K – статический коэффициент передачи аппарата; T_{TO} – постоянная времени теплообменного аппарата.

При этом оказалось, что при разных возмущениях постоянная времени для такого вида аппаратов не зависит от вида возмущения и определяется только расходами сред. Ниже приведена одна из нескольких возможных зависимостей, позволяющая приближенно оценить инерционность аппаратов такого вида [1]:

$$T_{TO} = \frac{c_M M_M + c_W M_W}{c_W G_W + \frac{1}{\frac{2}{kF} + \frac{1}{c_W G_W}}}, \quad (1)$$

где c_M, c_W – теплоемкости металла и воды; M_M, M_W – массы металла и воды; G_W – массовый расход воды; k – коэффициент теплопередачи аппарата; F – поверхность аппарата.

Передаточная функция с числовыми коэффициентами будет иметь вид

$$W(p) = \frac{0.58}{45,3p + 1}$$

Построение математических моделей установок наталкиваются

на ряд серьезных трудностей. В каждом конкретном случае математическая модель процесса создаётся исходя из целевой направленности процесса и задач исследования с учётом требуемой точности решения и достоверности используемых исходных данных.

Основным элементом СКВ является обслуживаемое помещение (ОП), в котором постоянно совершается переход воздуха из одного состояния в другое. Для поддержания заданных параметров в обслуживаемом помещении подается приточный воздух с параметрами, отличными от параметров внутри помещения. Перемешиваясь с внутренним воздухом и вытесняя его, приточный воздух ассимилирует избыточное тепло и влагу или подогревает и увлажняет воздух помещения.

Обслуживаемое помещение характеризуется рассредоточенными показателями воздуха. Учет рассредоточенных характеристик затруднен, поэтому помещение при решении задач автоматического регулирования рассматривается как объект с сосредоточенными параметрами, т. е. температура и влажность воздуха определяются в наиболее типичной (рабочей) зоне. Именно в такой зоне должны быть установлены датчики регулируемых параметров.

Обычно в кондиционируемых помещениях переменная тепловая нагрузка, влажностная - относительно постоянна, а газовая требует некоторого минимального расхода наружного воздуха.

Динамические свойства объекта будут зависеть от коэффициента КВ – кратности воздухообмена (определяется размерами помещения и общей площадью стен), коэффициентов lv , – теплоемкости, $K_{огр}$ – теплопереноса ограждений и $T_{огр}$ – постоянной времени ограждения. Как показывает практика, инерционностью ограждений можно пренебречь, так как стены помещения обладают большой теплоёмкостью.

Дифференциальное уравнение для помещения [2]:

$$Vc_6p_6 \frac{d\Delta\epsilon}{dt} = \Delta Q_{np} - \Delta T_3, \quad (2)$$

где $\Delta\epsilon$ – отклонение температуры; ΔQ_{np} – тепло приточного воздуха (не зависит от помещения); ΔT_3 изменение температуры зоны.

Температура рабочей зоны может быть определена зависимостью $\Delta T_3 = K_3 \Delta\epsilon$, где коэффициент K_3 можно вычислить по формуле [2]:

$$K_3 = G_6 c_6 p_6 q. \quad (3)$$

Перенесём ΔT_3 в левую часть уравнения (2) и разделим на K_3 получим выражение

$$\frac{Vc_6p_6}{K_3} \frac{d\Delta\epsilon}{dt} = \frac{\Delta Q_{np}}{K_3}. \quad (4)$$

Аналитически передаточная функция по каналу температуры

приточного воздуха может быть представлена в виде [1]:

$$W_{ttn}(p) = \frac{T_{огр}p + 1}{T_{ном}p + 1} K_{ном} \quad (4)$$

где $K_{ном}$ и $T_{огр}$ могут быть определены по показателям теплопроводности, и плотности воздуха.

Выше полученные функции позволили синтезировать каскадную систему с компенсатором по основному возмущению (рисунок 3).

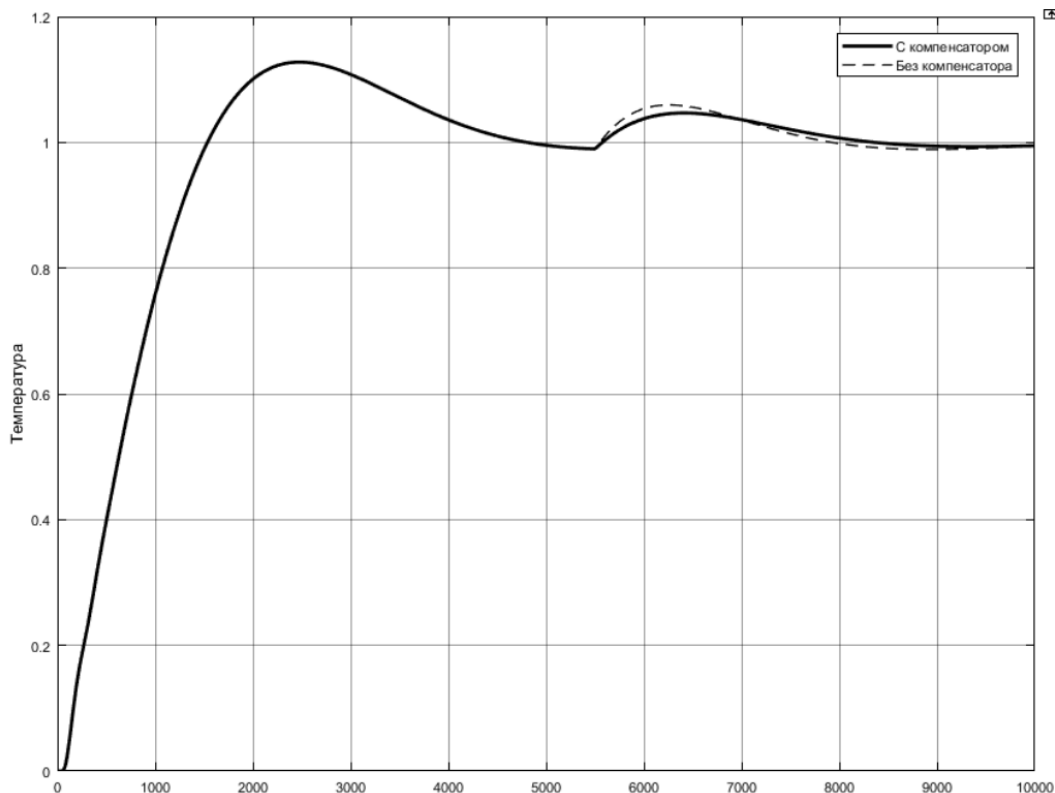


Рисунок 2 – Переходной процесс каскадного контура по температуре с компенсатором и без него

Как видно из рисунка, каскадная САУ обеспечивает более качественный переходный процесс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарь Е.С. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Киев, 2005-560с.
2. Сотников А.Г. Автоматизация систем кондиционирования воздуха и вентиляции. Ленинград, 1984-240с.

НАСТРОЙКА МНОГОСВЯЗНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА СЭНДВИЧ ПАНЕЛЕЙ

Производство сэндвич-панели для секционных ворот осуществляется на автоматизированной технологической линии полного цикла, которая обеспечивает выполнение заданной последовательности технологических стадий производства практически без использования ручного труда.

На первой стадии верхняя и нижняя стальные окрашенные ленты параллельно подаются на установки приклейки защитной пленки (верхнюю и нижнюю). Далее в зависимости от типа выпускаемой панели нижняя лента может прокатываться через следующие установки и машины: дисковые ножницы - используются для резки краев ленты с целью получения требуемой ширины ленты; эмбоссер (чеканочные валы) – обеспечивает процесс механического выдавливания на лицевой стороне ленты рисунка под дерево “Woodgrain”; гидравлически пресс 300 тон – необходим для штамповки на лицевой стороне ленты рисунка “Филенка”; зигочная машина - обеспечивает формирование на лицевой стороне ленты продольные линии для задания рисунков “L-гофр”, “M-гофр” и “S-гофр”.

Расход жидкости или газа является как регулируемым, так и регулирующим параметром, что на первый взгляд упрощает регулирование объекта. В действительности дело обстоит иначе. При открытии проходного сечения клапана поток жидкости или газа возрастает, но ответная реакция объекта наступает с некоторым запаздыванием. Последнее при регулировании расхода жидкости, протекающей по трубопроводу, связано с влиянием сил инерции. Чтобы охарактеризовать его, найдем постоянную времени объекта. Определение постоянной времени объекта. В установившемся потоке скорость жидкости в трубопроводе зависит от перепада давления:

$$u^2 = C^2 \cdot 2g \frac{\Delta p}{\gamma}, \quad (1)$$

где u – скорость; C – коэффициент расхода; g – ускорение силы тяжести; Δp – перепад давления; γ – удельный вес жидкости.

Скорость прямо пропорциональна расходу:

$$u = \frac{F}{A}, \quad (2)$$

где F – расход; A – площадь сечения трубопровода.

Следовательно, перепад давления при установившемся потоке жидкости:

$$\Delta p = \frac{u^2 \gamma}{2gC^2} = \frac{F^2 \gamma}{2gA^2 C^2} . \quad (3)$$

Если приложенная сила $A\Delta p$ превышает гидродинамическое сопротивление трубопровода, то поток начинает перемещаться с ускорением. Запишем уравнение неустановившегося движения жидкости, учитывая, что результирующая сила потока равна массе, умноженной на ускорение:

$$A\Delta p = \frac{AF^2 \gamma}{2gA^2 C^2} + M \frac{du}{dt} . \quad (4)$$

где M – масса; t – время.

Масса жидкости в трубопроводе:

$$M = \frac{LA\gamma}{g} , \quad (5)$$

где L – длина трубопровода.

Выполнив перестановку членов в уравнении движения жидкости и подставив значение M , получим:

$$\frac{F^2 \gamma}{2gAC^2} + \frac{L\gamma}{g} \cdot \frac{dF}{dt} = A\Delta p . \quad (6)$$

Чтобы определить постоянную времени объекта, приведем это дифференциальное уравнение к нормальному виду:

$$F + \frac{2LAC^2}{F} \left(\frac{dF}{dt} \right) = \frac{2gC^2 A^2 \Delta p}{\gamma F} . \quad (7)$$

Коэффициент при dF/dt представляет собой постоянную времени:

$$\tau = \frac{L}{u} . \quad (8)$$

Передаточные функции:

$$W_2(p) = \frac{1}{T_2 p + 1} e^{-\tau p} ; \quad W_3(p) = \frac{1}{T_3 p + 1} e^{-\tau p} . \quad (9)$$

Давление газа можно регулировать, изменяя количество вещества в системе, т. е. величину материальных потоков. В равновесных парожидкостных системах давление регулируют, изменяя материальный или тепловой потоки. Давление жидкости в качестве параметра регулирования используется редко, поскольку она практически несжимаема. Регулирование давления газа. Поведение идеальных газов подчиняется уравнению Клапейрона:

$$pV = MRT , \quad (10)$$

где p – давление; V – объем; M – число молей газа; R – удельная газовая постоянная; T – абсолютная температура.

Следовательно, при постоянном объеме системы зависимость скорости изменения давления от количества вещества выразится:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{dM}{dt} \cdot \frac{RT}{V}. \quad (11)$$

Если R и T постоянны, то скорость изменения количества газа в системе равна разности массовых расходов входящего и выходящего потоков:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{FRT}{V} (f_i - f_o). \quad (12)$$

где F – номинальный массовый расход газа; f_i и f_o – соответственно относительные входящий и выходящий потоки.

Интегрируя последнее уравнение, найдем зависимость давления от расхода:

Передаточные функции:

$$W_1(p) = \frac{1}{T_1 p + 1} e^{-\tau p}; \quad W_4(p) = \frac{1}{T_4 p + 1} e^{-\tau p}. \quad (13)$$

Передаточная функция по каналу “давление-давление”:

$$W_1(p) = \frac{1}{1,97p + 1} e^{-0,15p}$$

Передаточная функция по каналу “давление-расход”:

$$W_4(p) = \frac{1}{4,77p + 1} e^{-0,35p}$$

Передаточная функция по каналу “расход-давление” газа:

$$W_2(p) = \frac{1}{2,98p + 1} e^{-0,15p}$$

Передаточная функция объекта по каналу “расход-расход”:

$$W_3(p) = \frac{1}{6,72p + 1} e^{-0,35p}$$

Структурная схема многосвязной системы на рис. 1

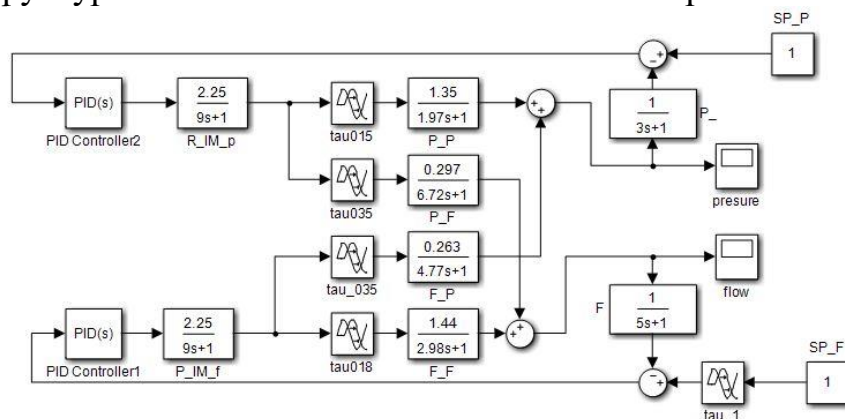


Рисунок 1 – Структурная схема контура регулирования давления и расхода

При моделировании системы с регулятором получаем переходную характеристику, изображённую на рисунке 2 и 3.

Давление на форсунке

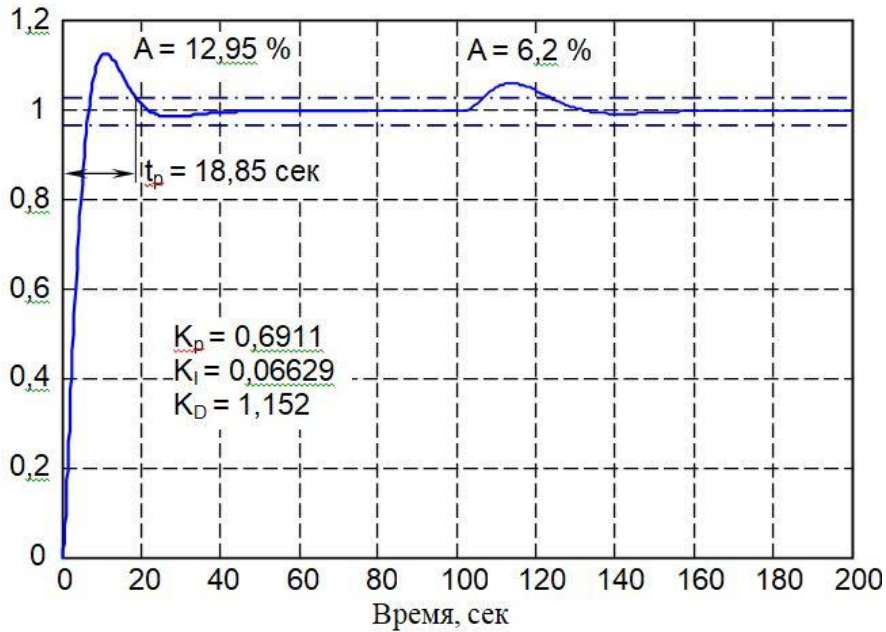


Рисунок 2 – Переходный процесс контура давления

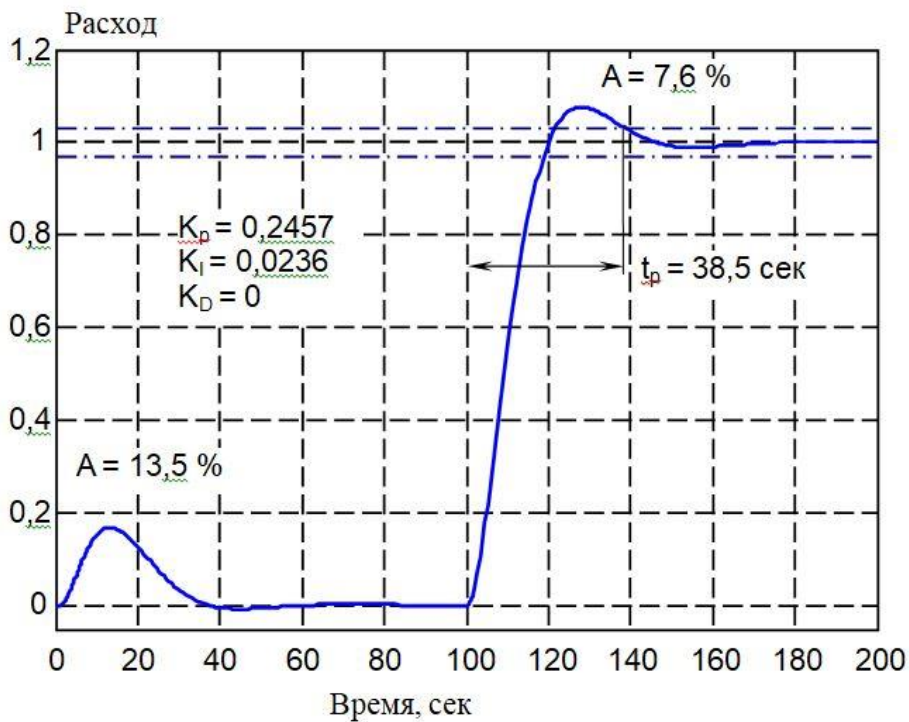


Рисунок 3 – Переходный процесс контура расхода

АВТОМАТИЗАЦИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ФРИТОВАРОЧНОЙ ПЕЧИ

Стекловидная фритта – продукт быстрого охлаждения в воде жидкой массы или пасты, полученной при плавлении исходных компонентов стекла (шихты). К таким компонентам относятся, например, диоксид кремния карбонат натрия, карбонат магния; карбонат бария, карбонат калия карбонат кальция, сульфат натрия, сульфат калия, нитрат натрия нитрат калия, оксиды свинца (глет, или красный свинец), каолин полевой шпат, бурая борная кислота.

Процесс приготовления фритты выполняется в фриттоваренной печи. Она основной тепловой агрегат в технологическом процессе производства фритты. В ней протекают процессы тепловой обработки сырьевых материалов, получения стекломассы и выработки из нее изделий.

Управление процессом осуществляется путем поддержания соотношения объема подаваемого газа и воздуха необходимого для поддержания горения в печи, а следовательно температуры внутри печи. В условиях многомерности процесса по выходным показателям, возмущающим и управляющим воздействиям, существования сильных взаимосвязей между технологическими элементами объекта, выбор направления и размеров изменения управляющих воздействий, а также косвенная оценка текущих значений показателей качества являются сложными для технолога задачами.

Один из важнейших параметров, характеризующих работу фриттоварочной печи – температура. Автоматическое регулирование температуры в рабочем пространстве печи не позволяет поддерживать заданный оптимальный температурный режим.

Большое значение для процесса стекловарения имеет и постоянство газовой среды в ванной печи. Изменение количества топлива, подаваемого в печь, меняет соотношение между ним и количеством воздуха. Это определяет характер факела горения, условия теплообмена в печи потери теплоты с отходящими дымовыми газами. При недостатке воздуха увеличение подачи в печь газа не приведет к повышению температуры в печи, а наоборот, вызовет ее снижение и потери количества несгоревшего газа через дымовую трубу. Стабильность режима горения может быть достигнута только при условии, что количество возду-

ха будет изменяться одновременно с количеством подаваемого топлива. При постоянной характеристике топлива такое требование может быть удовлетворено автоматическим выдерживанием заданного соотношением между расходом газа и воздуха.

Автоматическое регулирование соотношения газ – воздух обеспечивают экономичность процесса горения за счет полноты сгорания и отсутствия избытка воздуха.

В печах необходимо поддерживать постоянный контроль стекломассы. Колебания уровня стекломассы отрицательно сказываются: увеличивают разъедание огнеупорного материала кладки бассейна печи. В печи путем сгорания топлива вырабатывается количество тепла, необходимого для плавления готового продукта. Тогда уравнение теплового баланса можно записать с условием сгорания топлива и подачи воздуха [1]:

$$\lambda G_n + C_b G_b Q_b = Q_1 \quad (1)$$

где λ – тепло сгорания топлива; C_b – теплоемкость воздуха; G_b – расход топлива; Q_b – температура воздуха.

Уравнение (1) показывает, что количество тепла Q_1 превращается за счет сгорания топлива и подачи воздуха.

Уравнение теплового и материального балансов для небольших отклонений имеет вид:

$$\lambda G_n + C_b G_b Q_b + C_{M1} Q_{M1} g = C_M M \frac{dQ_M}{dt} + C_b G_b Q_{b1} + C_{M2} Q_{M2} g \quad (2)$$

где C_M, C_{M1}, C_{M2} – теплоемкость материала при температуре Q_M, Q_{M1}, Q_{M2} ; Q_M, Q_{M1}, Q_{M2} – температура материала в аппарате на входе и выходе; M – запас материала в аппарате; g – расход материала; Q_{b1} – температура отходящей смеси воздуха и паров воды.

Уравнение (2) показывает, что количество тепла, подаваемого в печь при сгорании топлива вместе с воздухом, выравнивается повышением температуры внутренним теплом аппарата, которое отводится вместе с отходящими газами.

После ввода допущений и некоторых преобразований уравнения (2) примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\lambda C_T}{C_b G_b K + C_M g} + \frac{C_b G_b Q_b}{C_b G_b + C_M g} + \frac{C_{M1} Q_{M1}}{C_b G_b K + C_M g} = \\ = \frac{C_M M}{C_b G_b K + C_M g} \cdot \frac{dQ_{Mcp}}{dt} + Q_{Mcp} \end{aligned} \quad (3)$$

Член

$$\frac{C_M M}{C_b G_b K + C_M g} = T$$

имеет размерность секунды и называется постоянной времени стекловаренной печи.

G_n или G_b является управляющим воздействием, это значит процессами в стекловаренной печи может управлять или изменением подачи топлива, или изменения подачи воздуха, либо одного из двух в определенных соотношениях.

Температура воздуха Q_b и расход готового продукта g является возмущающими воздействиями. Поскольку Q_b обычно меняется незначительно, то основным возмущающим воздействием будем расход материала g .

В уравнении (3) за регулируемую величину принята температура готового продукта Q_M . Когда ее измерять сложно, то за регулируемую величину можно принять температуру Q_b отходящих газов. Вид уравнения от этого не меняется.

В зависимости от характера управления стекловаренной печи можно описать двумя уравнениями. Для случая управления при $g = \text{const}$ и $G_b = \text{const}$ имеем:

$$T \frac{dQ_M}{dt} + Q_M = \frac{\lambda C_T}{C_b G_b K + C_M g} Q_n = K_b G_T, \quad (4)$$

Для случая управления расходом воздуха при $g = \text{const}$ и $G_T = \text{const}$:

$$T \frac{dQ_M}{dt} + Q_M = \frac{\lambda}{C_b K + C_M + \frac{g}{G_b}} = K_1 G_b, \quad (5)$$

Уравнение, которое характеризует возмущающие воздействие при $G_b = \text{const}$ и $G_T = \text{const}$:

$$T \frac{dQ_M}{dt} + Q_M = \frac{C_{M1} Q_{M1}}{C_M + \frac{C_b K G_b}{g}} = K_2 g, \quad (6)$$

Передаточная функция объекта по каналу температура высушенного материала - расход топлива:

$$W_2(p) = \frac{1,238}{75,2p + 1},$$

Передаточная функция по каналу температура высушенного материала – расход стеклобоя:

$$W_3(p) = \frac{Q_M(p)}{g(p)} = \frac{0,873}{75,2p + 1}.$$

Передаточную функцию компенсатора из принципа инвариантности:

$$W_K = \frac{0,3873p}{3204p^3 + 166,3p^2 + 2,209p + 0,0075}$$

Структура системы представлена на рисунке 1, а результат моделирования на рисунке 2

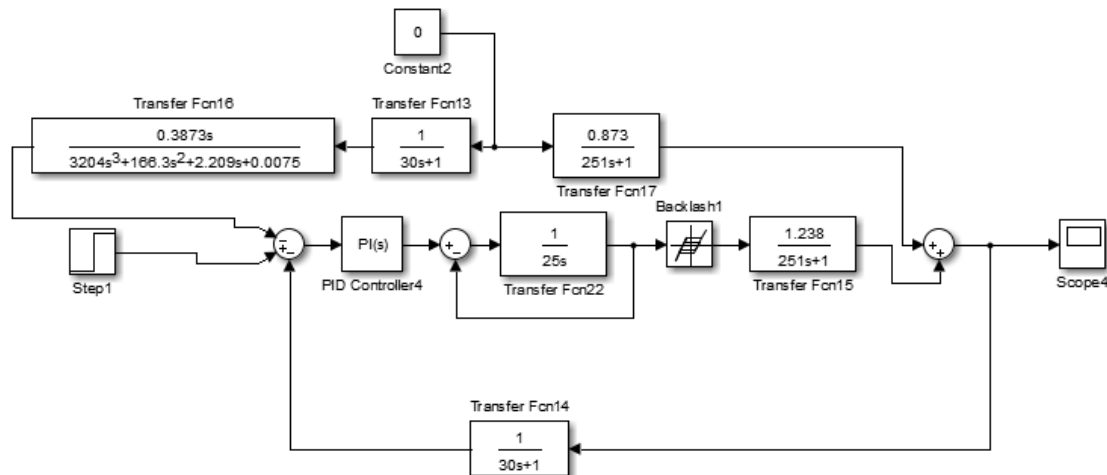


Рисунок 1 – Модель системы регулирования по возмущению с компенсатором с учетом нелинейности

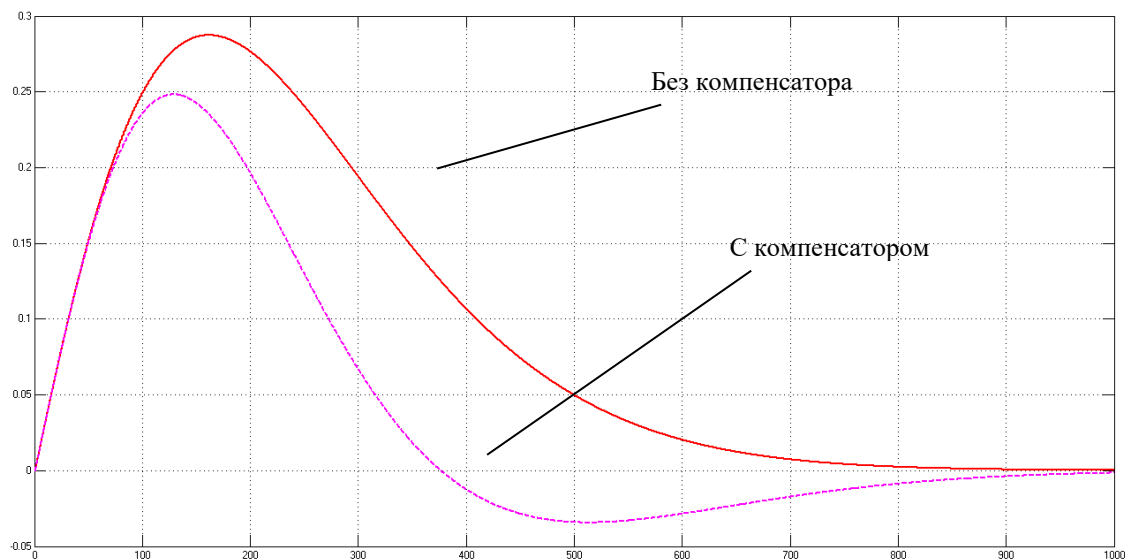


Рисунок 2 – Реакция системы на возмущение без компенсатора и с компенсатором

Введение компенсатора позволяет значительно улучшить качество регулирования, что повлечет за собой экономии газа при производстве фритты.

УДК 681.5

Студ. С.Н. Клындюк, Б.В. Сенкевич
Науч. рук. доц. В.В. Сарока, доц. Д.А. Гринюк
(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРООЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ОАО "НАФТАН"

В настоящее время ОАО «Нафтан» – это крупный нефтехимический комплекс, который выпускает различные виды топлива, масла смазочные и битумы, ароматические углеводороды и продукты нефтехимии.

Секция реактора предназначена для гидрирования простых и разложения высокомолекулярных сернистых, кислородных, азотистых соединений в результате их взаимодействия с водородом в присутствии гидрирующих катализаторов с выделением сероводорода, воды и аммиака.

В качестве сырья для установки гидроочистки дизеля рассматривается сырье, которое состоит из дизеля с установки первичной переработки нефти АВТ-6.

Реактор Р-201 - новый трехслойный реактор, оборудованный Albemarle внутренними элементами, которые обеспечивают смешивание и распределение материала по слоям катализатора. Здесь происходит охлаждение холодным циркуляционным газом при помощи компрессора для циркуляции газа из-за первого и второго слоя катализатора в реакторе. Количество газа для охлаждения зависит от температуры на верху верхнего слоя реактора под входом газа для охлаждения. Газ для охлаждения подается на второй и третий слой.

Особенность работы установки заключается в поддержании определенного температурного и расходного режимов.

Система автоматического контроля и управления АСУ ТП должна обеспечивать надежность управления работой всех аппаратов во всех режимах - предпусковом, пусковом, нормальном технологическом режиме, режиме останова (плановом и аварийном).

Система контроля и управления АСУ ТП будет выполнена на базе микропроцессорного программно-технического комплекса.

Система АСУ ТП представляет единый ПТК, с единой базой данных, как для «верхнего уровня», так и для контроллера.

Математическая модель системы или процесса отражает в той или иной мере свойства реальной системы, в том числе ограничения, существующие в реальных условиях. Математическая модель составляется (разрабатывается) в математических терминах (на математиче-

ском языке) и имеет, как правило, количественное описание.

Трубчатая печь является сложным многомерным и многосвязным объектом автоматизации. Целью регулирования трубчатой печи является поддержание температуры продукта на выходе при наличии большого количества возмущающих воздействий, многие из которых не контролируются. Кроме того, трубчатая печь является инерционным объектом с запаздыванием по основным каналам регулирования. Поэтому задача выбора информационного параметра по управлению, быстро реагирующего на изменение режима работы печи, и разработка системы автоматического регулирования, которая бы компенсировала основные возмущения, является актуальной.

Исследование способов построения САУ температурой на выходе трубчатой печи проводится на примере нагрева ГСС, которая протекает по змеевику трубчатой печи и нагревается за счет тепла, образующегося при сжигании топливного газа. Из большого количества факторов влияющих на температуру выхода ГСС можно выделить подачу топливного газа и ГСС. Подача газо-сырьевой смеси, а также ее температура являются основными источниками возмущений, а подача топливного газа - управляющим воздействием. Температуру топливного газа можно считать постоянными.

Поскольку трубчатые печи обладают запаздыванием по передаче тепла от дымовых газов через стенку змеевика к проходящему по змеевику продукту и, кроме того, переходной процесс по каналу «расход топлива - температура смеси на выходе» продолжается несколько часов, то применение одноконтурной САУ приводит к динамической ошибке, а время регулирования достигает больших значений. Целью данного дипломного проекта является разработка способа управления трубчатой печью, позволяющего улучшить качество регулирования, посредством анализа каскадных схем регулирования температуры ГСС на выходе с учетом ограничений на ее производительность.

Методика решения задачи.

Повысить качество регулирования можно за счет:

Выбора в качестве информационного параметра по управлению температуры газа над перевальной стенкой, которая достаточно быстро реагирует на изменение режима работы печи, обусловленное количеством топливного газа, подаваемого на сжигание.

Учета возможности резкого изменения перегрузки печи по расходу нагреваемого продукта и наличие возмущения по расходу сырья.

Учета изменения давления топливного газа.

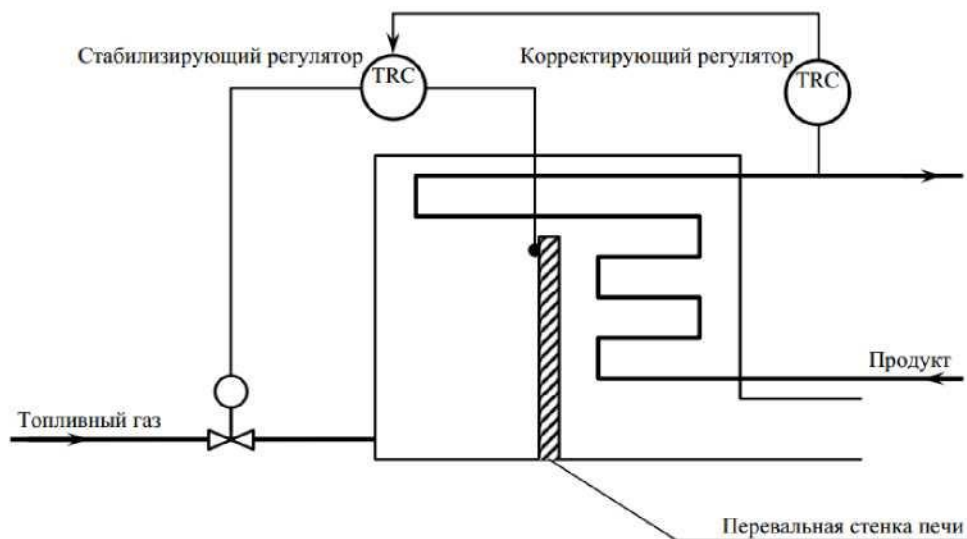


Рисунок 1 – Каскадная схема регулирования температуры сырья в трубчатой печи

Учет перечисленных факторов существенно улучшает качество регулирования температуры газо-сырьевой смеси на выходе из печи и может быть реализован посредством каскадной схемы регулирования, представленной на рис. 1.2. Регулятор температуры над перевальной стенкой компенсирует возмущения, влияющие на процесс сгорания топлива прежде, чем они приведут к изменению температуры продукта.

Для каскадной системы регулирования температуры газо-сырьевой смеси в трубчатой печи была получена математическая модель следующего вида:

$$C \frac{\pi d^2}{4} \frac{\delta T(x,t)}{\delta t} = -CV \frac{\delta T(x,t)}{\delta t} + k_T \pi d (T(t) - T_H(x,t)) \quad (1)$$

где $V = U/T$ – объемная скорость поступления сырья в выделенный объем и выхода из него; C – теплоемкость сырья; $\pi d^2/4$ – элементарный объем; $\delta T(x,t)/\delta t$ – изменение температуры ГСС по длине змеевика

После определенных преобразований (1) можно получить дифференциальное уравнение

$$\frac{C}{4k_T} \frac{d}{dt} x_{OUT} + x_{OUT} = \frac{T}{T_H} x_{IN} \quad (2)$$

Внутренний контур стабилизирует температуру над перевальной стенкой путем изменения расхода топливного газа. Внешний контур – это контур, стабилизирует температуру на выходе трубчатой печи путем изменения температуры над перевальной стенкой.

Передаточная функция по каналу «расход топливного газа - температура над перевальной стенкой»:

$$W_1(p) = \frac{13,75}{801p + 1} \exp(-22,3p)$$

Передаточная функция по каналу «температура над перевальной стенкой - температура на выходе печи»:

$$W_1(p) = \frac{0,128}{80,7p + 1} \exp(-53,3p)$$

Структурная схема каскадной системы регулирования с учетом динамики сопутствующего оборудования представлена на рисунке 2, а также результат настройки на рисунке 3.



Рисунок 2 – Структурная схема контура регулирования температуры печи

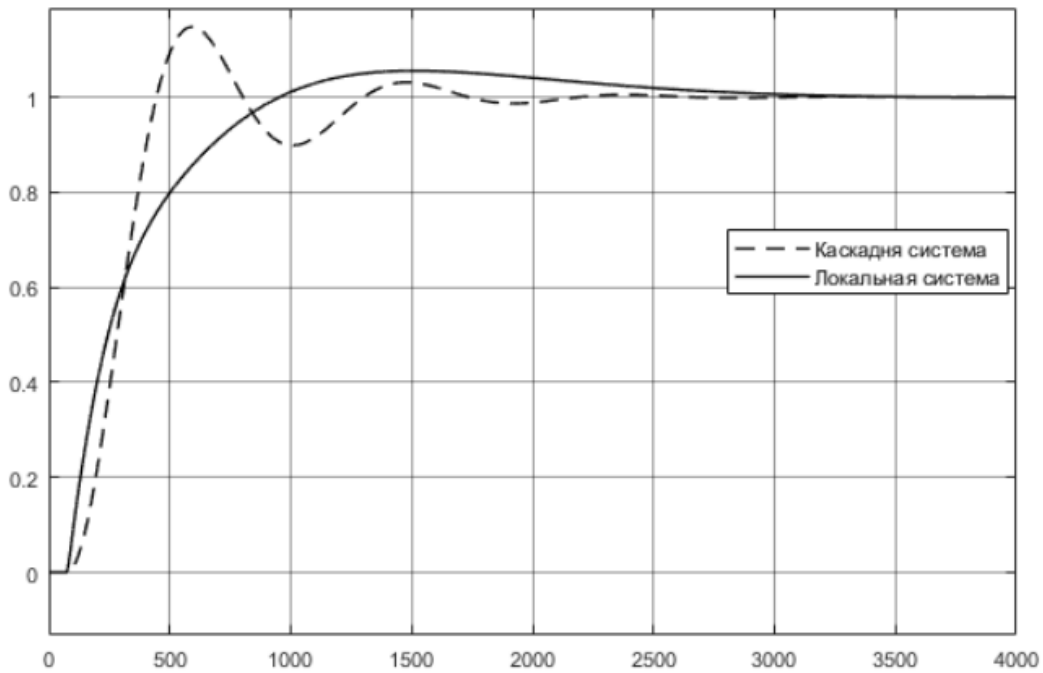


Рисунок 3 — Сравнение переходных процессов каскадной и локальной АСР

Динамика с введением каскадной системы значительно улучшилась, что позволит системе быстрее реагировать на возмущения и экономить энергоресурсы

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРООЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ОАО "НАФТАН"

Перегонка с ректификацией – наиболее распространенный в химической и нефтегазовой технологии массообменный процесс, осуществляемый в аппаратах – ректификационных колоннах – путем многократного противоточного контактирования паров и жидкости.

В подавляющем большинстве случаев требования к системам автоматического регулирования (САР) процесса ректификации ограничиваются стабилизацией параметров, влияющих на процесс разделения. Такие САР целесообразны при небольших возмущениях и колебаниях качества продукта. При значительных изменениях количества и состава исходной смеси неизбежны продолжительные отклонения от заданного состава исходных продуктов. Чем больше количество стабилизированных независимых переменных, тем проще осуществить устойчивое регулирование работы ректификационной колонны.

В связи с непрерывным повышением требований к чистоте продуктов возникла необходимость в разработке более совершенных комбинированных инвариантных систем управления процессами ректификации. К ним предъявляются следующие основные требования:

1. Необходимо сочетание двух принципов регулирования — по отклонению регулируемой величины и по возмущающим воздействиям.

2. Сигналы по возмущающим воздействиям должны трансформироваться при передаче на регулятор, с учетом динамических характеристик каналов таким образом, чтобы выполнялись условия инвариантности.

3. В системах с несколькими регулируемыми величинами необходимо учитывать их взаимную связь. При наличии значительных неустраняемых внутренних связей между параметрами нужно выполнять условия автономности для разделения сложной системы на простейшие сепаратные.

4. В случае нелинейных (но линеаризуемых) объектов система должна иметь устройство, корректирующее настройку регуляторов и других ее элементов в соответствии с нагрузкой.

Проанализировав колонну как объект управления можно сделать вывод, что наиболее целесообразной системой для стабилизации тем-

пературы кипения жидкости на тарелках является система регулирования с компенсацией возмущений, которые возникают в результате изменения температуры на соседних тарелках.

Из числа основных переменных выделим те, которые могут быть использованы в автоматической системе как регулируемые (управляемые) величины, а также определим управляющие воздействия. Определим основные материальные потоки, входящие в систему.

Основными материальными потоками являются питание колонны и отбор боковых продуктов. Тепловой баланс в колонне поддерживается регулированием температуры исходной смеси, подачей пара в куб, а также возвратом части охлажденного продукта в куб.

Определим передаточные функции по прямым (расход-температура) и внутренним (температура-температура) каналам управления. Передаточные функции по прямым каналам управления, которые получены путем анализа экспериментальных трендов, имеют следующий вид:

$$W_1 = T_{LKDT}(L_5) = \frac{0,7064}{136,06 \cdot p + 1}, \quad (1)$$

$$W_2 = T_{LЛВГ}(L_{0КДТ}) = \frac{0,5998}{118,86 \cdot p + 1}, \quad (2)$$

$$W_3 = T_{ЛТВГ}(L_{ЛТВГ}) = \frac{0,2703}{86,27 \cdot p + 1}. \quad (3)$$

Передаточные функции по внутренним каналам следующие:

$$W_4 = T_{LKDT}(T_{LЛВГ}) = \frac{1,0462}{136,06 \cdot p + 1}; \quad (4)$$

$$W_5 = T_{LЛВГ}(T_{LKDT}) = \frac{0,2036}{118,86 \cdot p + 1}; \quad (5)$$

$$W_6 = T_{LЛВГ}(T_{LЦО}) = \frac{0,5966}{118,86 \cdot p + 1}; \quad (6)$$

$$W_7 = T_{ЛТВГ}(T_{LЦО}) = \frac{0,0655}{86,27 \cdot p + 1}. \quad (7)$$

Для выбора необходимой структуры управления необходимо посчитать степени связи, используя полученные передаточные по прямым и перекрестным каналам:

$$K_1 = \frac{W_4(p) \cdot W_5(p)}{W_1(p) \cdot W_2(p)} = \frac{1,0462 \cdot 0,2036}{0,7064 \cdot 0,5998} = 0,5; \quad (8)$$

$$K_2 = \frac{W_6(p) \cdot W_7(p)}{W_2(p) \cdot W_3(p)} = \frac{0,5966 \cdot 0,0655}{0,5998 \cdot 0,2703} = 0,24. \quad (9)$$

Так как в обоих случаях коэффициент связи $0 < K < 1$, то следует

учитывать влияние внутренних связей. Для ослабления воздействия внутренних связей на систему можно использовать компенсаторы.

Структурная схема (рис.1) и результаты моделирования системы управления с учетом перекрестных связей представлена на рис. 2-4.

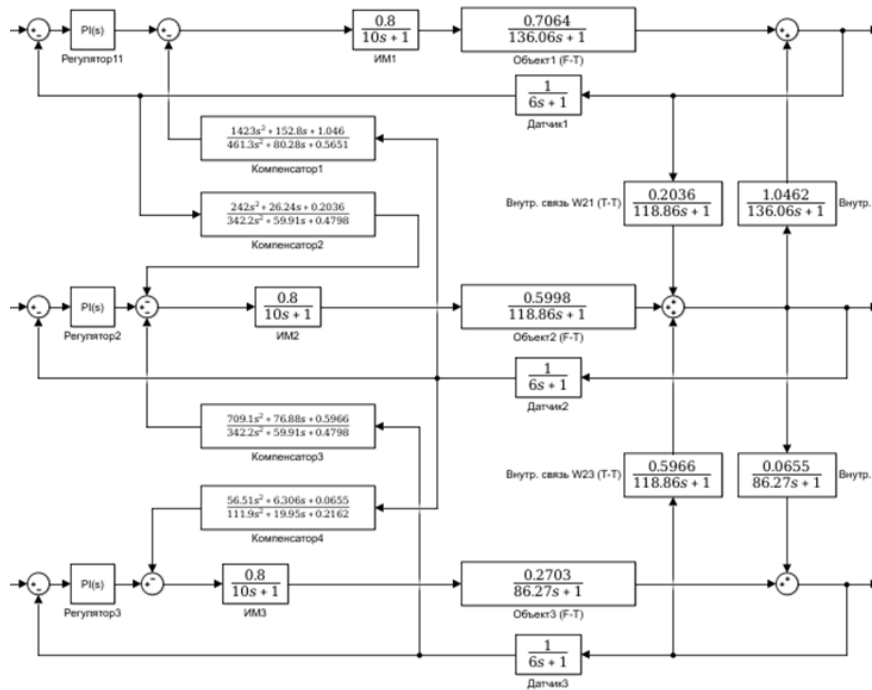


Рисунок 1 – Структурная схема системы управления с учетом внутренних связей и компенсаторов, представленная в среде Matlab

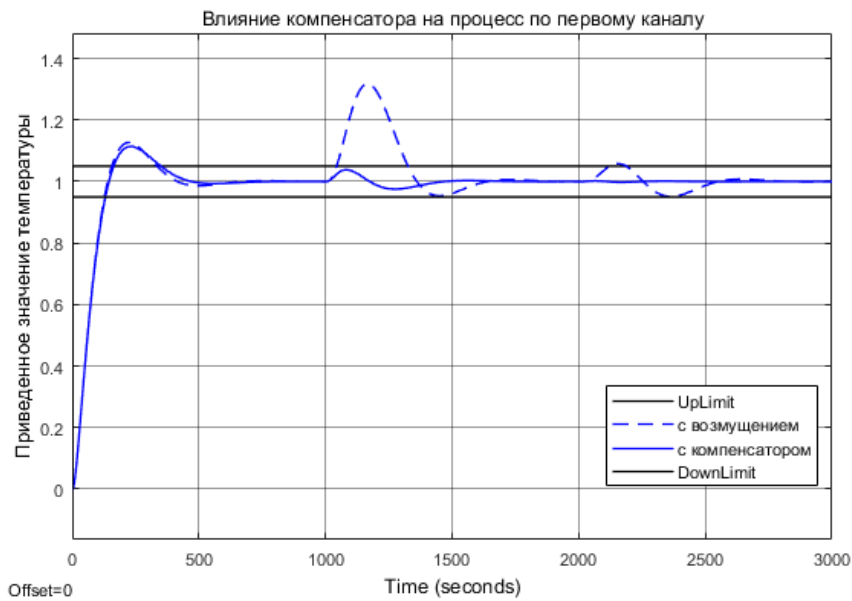


Рисунок 2 – Сравнение графиков переходных процессов в первом контуре с учетом компенсаторов и с возмущением

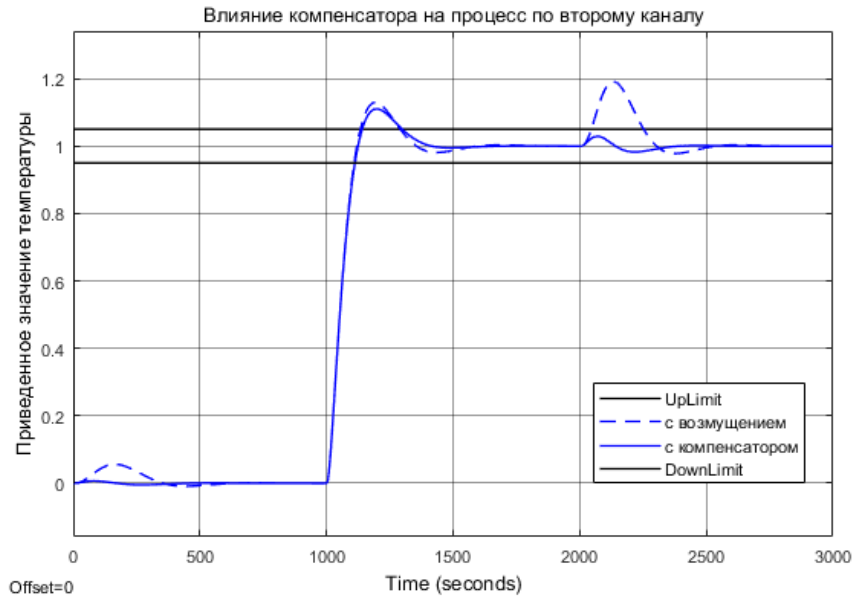


Рисунок 3 – Сравнение графиков переходных процессов во втором контуре с учетом компенсаторов и с возмущением

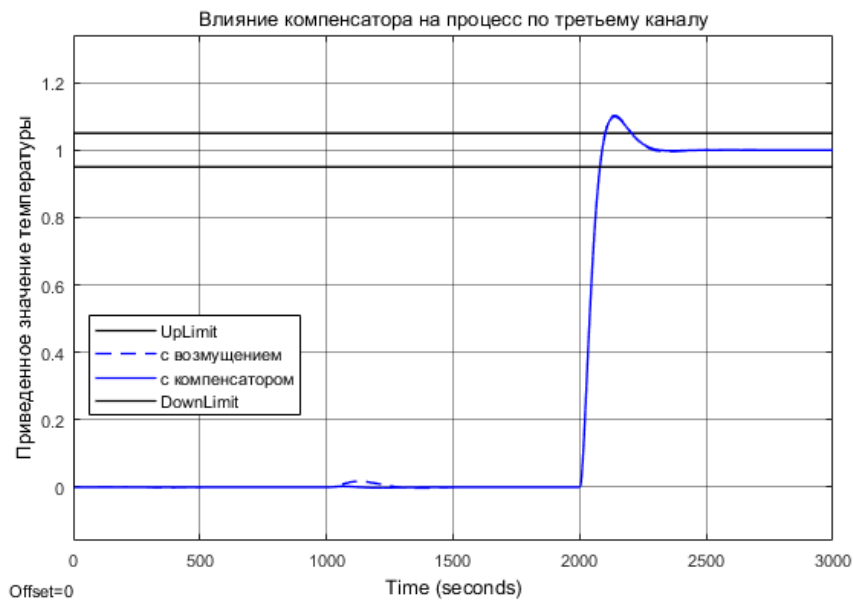


Рисунок 4 – График переходного процесса в третьем контуре с учетом внутренних связей с компенсатором и без компенсатора, без внутренних связей

Для улучшения переходных процессов рассчитаны компенсаторы для каналов W_4 , W_5 , W_6 , W_7 . В результате моделирования получено, что рассчитанная система управления обеспечивает стабилизацию параметров и делает систему нечувствительной к переходным процессам, происходящим на соседних тарелках.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТЕНДОМ ТЕСТИРОВАНИЯ ЛЫЖ

Испытания механических конструкций является неотъемлемой частью развития многих технологий производства деталей в различных отраслях промышленности. Особенно сейчас, когда широко внедряются композиционные конструкции, которые трудно просчитываются аналитическими методами. Необходимость испытаний в одних случаях это обусловлено требованиями законодательства и сертификации, в других – элементом разработки и оптимизации. Испытания можно проводить на универсальных стендах, что широко выпускаются для научных и заводских лабораторий производитель тензометрического оборудования. Они хорошо автоматизированы, современны, но не всегда позволяют достичь соответствия необходимых испытаний. Особенно в случае особого потребительского товара, который производится на ограниченном количестве предприятий в мире.

Испытание механических характеристик лыж подчиняются ГОСТ 30045-93. И это был основной ориентир для разработки стенда. Следует отметить, что мировой практике существуют различные подходы к тестированию лыж [1]. Авторы предлагают и другие подходы, отличные от выше указанного ГОСТ. Некоторые положения прописаны и в стандартах ISO [2, 3]. Следует отметить, анализ патентов показал, что большинство аспектов обеспечения качественно тестирования лыж, были решены в 80-х годах прошлого века. Проблемы производства решаются в рамках заводских лабораторий предприятий по выпуску лыжной продукции.

ГОСТ 30045-93 содержит описание рядов тестов, каждый из которых имеет свои особенности. Ввиду аппаратного ограничения при реализации силового теста вынуждены были использовать актуатор. В зарубежной литературе актуаторами понимают исполнительные устройства систем управления. Основой для выбора актуатора являлось необходимость линейного перемещения в диапазоне до 300 мм и усилия до 1000 кг. Кроме этого, по условиям испытания, следовало ограничить скорость перемещения рабочего органа. Поскольку основой для актуатора является двигатель постоянного тока, естественным решением для регулирования частоты является использование широтно-импульсной модуляции питающего напряжения. В качестве силового регулятора может выступать силовое твердотельное реле или специа-

лизированный драйвер.

Общее управление станда построено на базе ПЛК Wago 750-881. Реле имеет лучшие условия сопряжения, однако присутствует ограничение по несущей частоте, и устройство будет работать на индуктивную нагрузку. Использование специализированного драйвера потребует решение вопроса сопряжения 24 вольтового выходного модуля ПЛК с 5 вольтовой цепью управления драйвера.

Конструкция станда не позволяет напрямую контролировать частоту оборотов. Однако схема предусматривает контроль линейного перемещения рабочего органа с помощью оптического датчика линейных перемещений. Для построения системы стабилизации нужно будет в контроллере осуществлять процесс дифференцирования сигнала с датчика.

Момент сопротивления перемещению регулирующего органа имеет нелинейный характер (рис. 1). Можно выделить три стадии: перемещение до соприкосновения с поверхностью лыжи (I); участок пропорционального нарастания момента пропорционально координате (II) и резкое увеличение момента при достижении момента выпрямления (III).

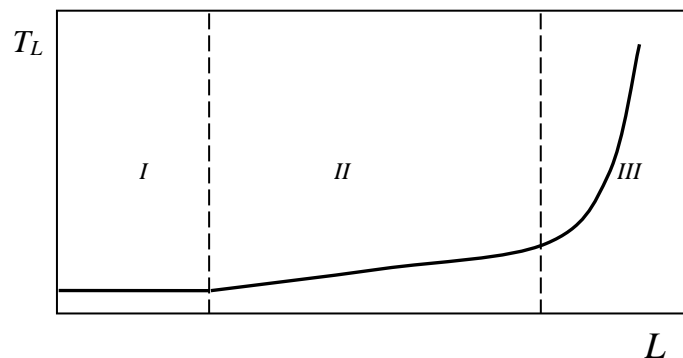


Рисунок 1 – Зависимость момента от перемещения

Исходя из уравнений для электрических и механических процессов

$$U = E + R_A I + L_A \frac{dI}{dt}; T - T_L = J \frac{d\omega}{dt} \quad (1)$$

где U – напряжение питания двигателя; E – противо-ЭДС индуцируемая в якоре; I – ток в якоре; R_A, L_A – сопротивление и индуктивность якоря двигателя; J, T и T_L – суммарный момент инерции, момент вращения и момент сопротивления движению, приведенные к валу двигателя; ω – скорость вращения вала.

Уравнение (1) приводит к следующей передаточной функции двигателя:

$$W(p) = \frac{1/C}{T_M T_E p^2 + T_M p + 1}, \quad (2)$$

где T_M – механическая постоянная двигателя; T_E – электрическая постоянная времени двигателя; C – константа.

Для испытаний применяются сервопривода фирмы LINAK LA37 (рис. 2).

Сервопривод состоит из нескольких частей: ДПТ, редуктор, подвижный шток, абсолютный энкодер. Сервопривод получает команды с контроллера WAGO расположенного в щите управления.

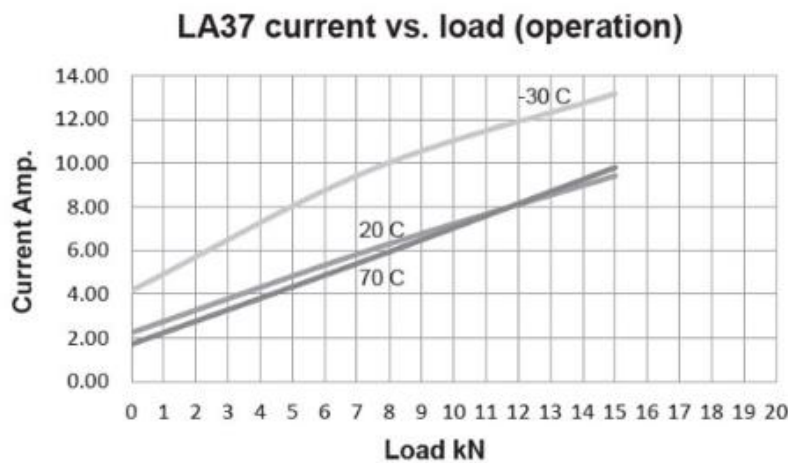


Рисунок 2 – Характеристика сервопривода

При проектировании в технически обоснованных случаях необходимо шире применять принцип инвариантности локальных систем по отношению к наиболее характерным возмущающим воздействиям. В первую очередь необходимо предусматривать компенсации возмущающих воздействий между локальными системами, что обеспечит их работу в оптимальном устойчивом режиме и повысит надёжность работы объекта автоматизации.

Принцип инвариантности (независимости) заключается в достижении независимости регулируемой величины от внешних возмущающих воздействий путем полной компенсации их.

Принцип инвариантности успешно применен при разработке многих компенсаторов и стабилизаторов. В химической и нефтеперерабатывающей промышленности делаются лишь первые попытки разработки автоматических систем с использованием принципа инвариантности. Объясняется это сложностью и недостаточной изученностью динамических характеристик объектов управления.

С целью обеспечения качественного поддержания скорости ра-

бочего органа в соответствии с требованиями выше указанного ГОСТ рациональным решением будет использование комбинированной системы управления (рис. 3) [4], где W_C – компенсатор момента; W_T – датчик момента; R – регулятор скорости; W_{PWM} – широтно-импульсный преобразователь; U – сигнал управления; W_E – электрическая постоянная времени двигателя; K_T K_E – константы двигателя; W_M – механическая постоянная времени; W_L – динамика редуктора и преобразователя вращательного движения в поступательное; I_A – ток якоря; D – дифференциатор; W_x – датчик механического перемещения.

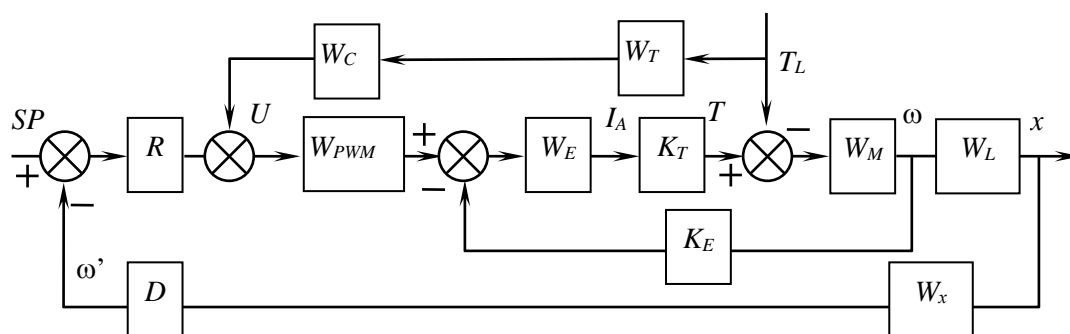


Рисунок 3 – Структура системы регулирования

Ввиду особенности объекта управления использование полной инвариантности по отношению к помехе не представляется возможным. Из-за этого придется ограничиться компенсацией в полосе спектра помехи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fadurdo Orellana, R. Experimental Methods to Measure Mechanical Properties of Cross Country Skis: Load-displacement and Contact Surface <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1031308&dswid=6548>
2. ISO 7138:2017 Cross-country skis — Determination of mass and location of balance point
3. ISO 7798:2017 Cross-country skis — Determination of fatigue indexes — Cyclic loading test
4. D. Hryniuk, I. Suhorukova, N. Oliferovich and I. Orobei, Complex tuning of the PID controller according to integral criteria, 2018 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream), Vilnius, 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/eStream.2018.8394117

СИНТЕЗ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ ЧЕРЕЗ ЦИФРОВОЙ АПЕРИОДИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР

ПИД-регулятор продолжает оставаться одним из популярных решений для построения систем управления. Его универсальность для большого класса объектов способствует широкому использованию как в технологических процессах в промышленности, так и в технических электронных системах. За время векового применения предложено множество решений по развитию классического метода построения ПИД-регулирования. Одновременно происходит и развитие методов настройки регуляторов данного типа. Основными методами настройки являются коэффициент усиления K , время интегрирования I и дифференцирования D передаточной функции регулятора:

$$W_R(p) = K + \frac{1}{Ip} + Dp \quad (1)$$

В литературе можно найти большое количество методов настройки. Среди них выделяют два основных полюса. Один полюс – это обеспечение требуемого запаса по устойчивости, другой – обеспечение желаемого качества переходного процесса. Большинство наиболее популярных методик настройки ПИД-регулятора используют один из полюсов как отправную точку, а затем, по необходимости, обеспечивают компромисс в отношении другого полюса.

Среди популярных критериев устойчивости различают частотные (критерий Найквиста и Михайлова) и критерии, основанные на анализе характеристического уравнения передаточной функции канала управления (корневой критерий, критерий Стодолы и Гурвица).

Однако большинство методов для обеспечения качества переходного процесса требуют последующей коррекции настроек.

По этой причине, а также благодаря широким возможностям современных компьютеров и контроллеров происходит развитие онлайн-методов анализа настройки с использованием различных поисковых методов. Среди них можно выделить как методы, основанные на классических подходах минимизации интегральных критериев [1], так и широко применяемые нечеткие и генетические алгоритмы. Эти методы более универсальны, могут использоваться для линейных и нелинейных объектов управления. С помощью онлайн-методов настраиваются нелинейные регуляторы. Однако они требуют высокой вычислитель-

ной мощности.

В [2] предложено осуществлять настройку ПИД-регулятора через deadbeat (в русскоязычной литературе встречаются различные варианты перевода: апериодический, компенсационный и т. д.). Однако были отмечены ограничения этого подхода. Данный метод прямого проектирования для дискретных ПИД-регуляторов может представлять интерес для следующих случаев:

1. Применение самонастраивающегося управления для уникальной настройки параметров ПИД-контроллеров.

2. Определение подходящих начальных значений для оптимизации числовых параметров.

Предложенный в [2] подход основан на анализе коэффициентов передаточной функции объекта управления. Однако это не применимо, если мы используем для синтеза deadbeat-регулятор с ограничением на управляющее воздействие. Для нахождения коэффициентов K , I , D можно воспользоваться прямой аппроксимацией передаточной функции deadbeat-регулятором ПИД-регулятора. Построение импульсной характеристики цифрового регулятора по его передаточной функции

$$W_{DB}(z) = \frac{p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2} + \dots + p_m z^{-m}}{q_0 + q_1 z^{-1} + \dots + q_m z^{-m}} \quad (2)$$

не требует решения дифференциального уравнения. В (2) z – переменная z -преобразования, $z = \exp(T_0 s)$; T_0 – время квантования; m – порядок полинома. Значение на каждом такте может быть найдено путем простейших арифметических операций. Особенно если учитывать, что значение на входе всегда равно 1.

После построения импульсной характеристики deadbeat на количестве тактов, когда градиент приращения становится постоянным (рис. 1), можно взять два соседних значения управления и вычислить время интегрирования:

$$I = \frac{u(k+1) - u(k)}{T_0}, \quad (3)$$

где k – дискретные отсчеты ($k = t / T_0 = 0, 1, 2, \dots$; t – время).

Коэффициент усиления рассчитывается как

$$K = u(k) - I k T_0. \quad (4)$$

Время дифференцирования зависит от формы записи регулятора. Для идеального регулятора формула следующая:

$$D = q_0 - K. \quad (5)$$

В случае формы реального регулятора, как наиболее интересной с практической точки зрения:

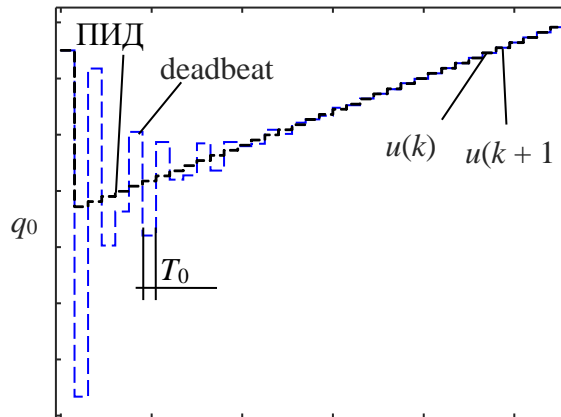


Рисунок 1 – Переходная характеристика deadbeat и ПИД

$$W_R(s) = K + \frac{1}{Is} + \frac{Ds}{Fs + 1}. \quad (6)$$

Тогда расчетная формула будет иметь следующий вид:

$$D = \frac{q_0 - K}{F}. \quad (7)$$

В качестве критерия выбора можно использовать различные интегральные критерии. При этом полученные настройки ПИД-регулятора не требуют обязательного применения simple time, который использовался для синтеза deadbeat (DBC).

Рассмотрим в качестве примера несколько объектов управления. За основу возьмем передаточную функцию $W_{O1}(s)$ из [2]:

$$W_{O1}(s) = \frac{(2s + 1)}{(10s + 1)(7s + 1)(3s + 1)} \exp(-4s), \quad (8)$$

Последняя передаточная функция характерна для таких технологических объектов, как стабилизация уровня в парогенераторах, теплообменниках с фазовыми превращениями и др.

Качество настройки будем оценивать с помощью интегральных критериев:

$$J_2 = \int_0^{tf} t^2 |e(t)| dt \rightarrow \min; \quad (9)$$

где $e(t)$ – отклонение выхода сигнала задания; $u(t)$ – сигнал управления на выходе регулятора; tf – время моделирования.

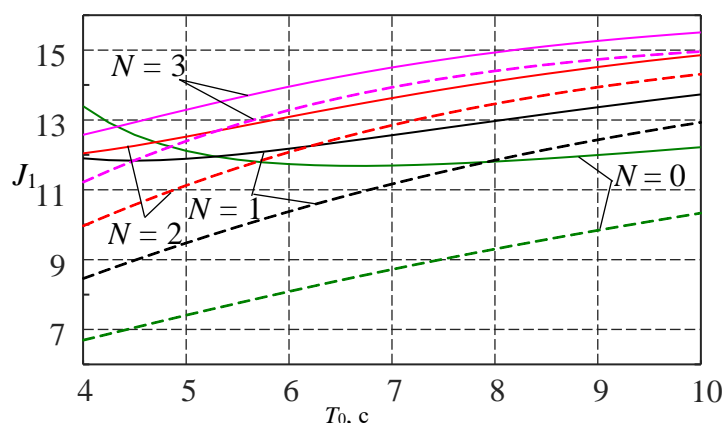
Для моделирования использован непрерывный ПИД-регулятор (6) $F = 0,01$. Данный параметр оказывает влияние на качество переходного процесса [24], однако чаще всего его значение на практике определяется особенностью технической реализации ПИД-регулятора.

Время переходного процесса оценивалось по уровню 3% от сигнала задания.

Также, для сравнения проведена численная оптимизация интегральных критериев в программном пакете MATLAB.

Следует отметить, что для каждой из передаточных характеристик существует критическое значение величины F , при котором расчетное значение D выходит за рамки реализации. В некоторых случаях для достижения минимального значения интегрального критерия приходилось уменьшать значение F .

Характер зависимости основных параметров качества переходных процессов интегральных критериев – на рис. 2.



**Рис. 4. Интегральный критерий J_1 для W_{01} .
Сплошная линия – ПИД; штриховая линия – deadbeat**

Графики показывают, что в случае необходимости минимизации времени t_p переходного процесса для поиска настроек ПИД-регулятора следует использовать deadbeat-регулятор с $N = 0$.

Соотношения между значениями ПИД и ДВС для последнего интегрального критерия существенно различаются только при малых значениях T_0 . По мере увеличения T_0 в исследуемом диапазоне они начинают сближаться. В области малых значений J_4 для ПИД значительно ниже, чем для deadbeat-регулятора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hryniuk D., Suhorukova I., Orobei I. Non-linear PID controller and methods of its // Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream) 27 April, 2017. Vilnius, 2017. P. 1-4.
2. Isermann R. Digital Control Systems. 2nd edn. Springer, Berlin, 1989. 565 p.
3. Oliferovich N., Hryniuk D., Orobei I., Suhorukova I. Increasing the robustness of the digital controller // Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream) 26 April, 2018. Vilnius, 2018. P. 1-4.

Студ. О.Е. Первакова
 Науч. рук. проф. В.С. Кудряшов
 (кафедра информационных и управляющих систем, ВГУИТ)

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА ТЕХНОЛОГА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВЫПАРИВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СГУЩЁННОГО МОЛОКА

Цель работы: разработка автоматизированной системы управления процессом выпаривания в производстве сгущённого молока.

Решаемые задачи: синтез цифровой каскадной системы регулирования температуры с коррекцией по вязкости конечного; управление пуском и остановом электродвигателей насосов; разработка мнемосхемы процесса с отображением текущих значений параметров и цветовым изображением состояний режимов работы насосов.

Синтез цифровой каскадной системы регулирования температуры с коррекцией по вязкости конечного продукта:

В результате идентификации дискретной динамической модели внутреннего «расход пара - температура в выпарном аппарате» и внешнего «температура в выпарном аппарате-вязкость конечного продукта» контуров моделями 2 и 3 порядков с помощью метода наименьших квадратов получены параметры моделей и значения критерия Фишера (табл.1) для оценки точности идентификации. Графики, включающие в себя результаты идентификации разностными уравнениями 2 и 3 порядков, а также исходную кривую разгона, относительно которой производилось исследование представлены на рисунке 1 для внутреннего контура, на рисунке 2 для внешнего.

Структура разностных уравнений при идентификации:

$$2 \text{ порядок: } y_i = a_1 \cdot y_{i-1} + a_2 \cdot y_{i-2} + b \cdot u_{i-1-d}$$

$$3 \text{ порядок: } y_i = a_1 \cdot y_{i-1} + a_2 \cdot y_{i-2} + a_3 \cdot y_{i-3} + b \cdot u_{i-1-d}$$

Таблица 1 – Результате идентификации дискретной динамической модели

Канал объекта	Порядок	Значения параметров модели				Критерий Фишера
		a_1	a_2	a_3	b	
Расход пара - температура в вып. аппарате	2	1.595	-0.672	-	-1.298	285
	3	1.604	-0.693	0.013	-1.298	321.6
Температура в вып. аппарате – вязкость конечного продукта	2	1.942	0.943	-	0.004834	$1.132 \cdot 10^4$
	3	1.536	-0.198	-0.344	0.022	$6.443 \cdot 10^3$

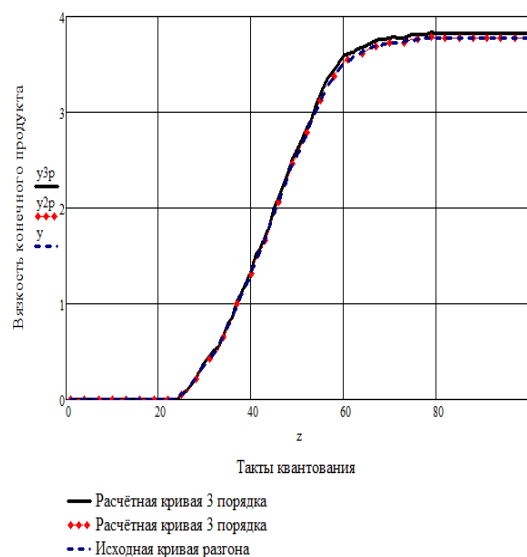


Рисунок 1 – Экспериментальные и идентифицируем переходные процессы по внутреннему контуру «Расход пара - температура в выпарной установке»

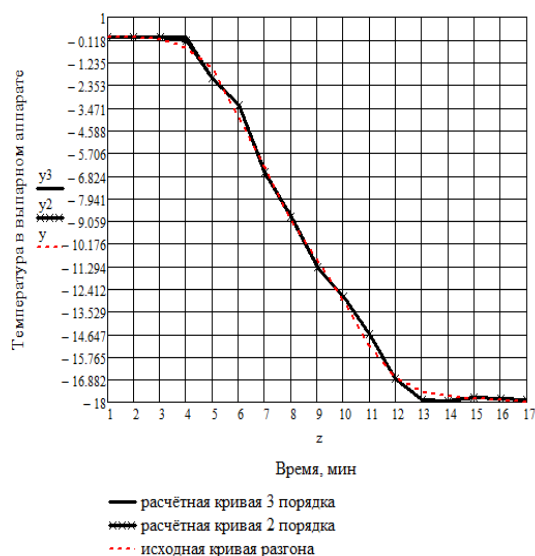


Рисунок 2 – Экспериментальные и идентифицируем переходные процессы по внутреннему контуру «Температура в выпарной установке- вязкость конечного продукта»

Для внутреннего контура модели следует выбрать структуру объекта третьего порядка, так как она более точно описывает объект (критерий Фишера = 321.6). Для внешнего контура - структуру объекта второго порядка (критерий Фишера = $1.132 \cdot 10^4$). Поэтому данные модели будут использоваться для расчёта настроек цифровых регуляторов.

Оптимизация настроек цифровых регуляторов для внешнего и внутреннего контуров осуществляется по критерию минимума интегральной квадратичной ошибки (ИКО) методом покоординатного спуска. Результаты оптимизации представлены на рис. 3, 4 для внутреннего контура, на рис. 5, 6 для внешнего контура. Полученные показатели качества представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели качества настройки регуляторов

Показатели качества	Внутренний контур		Внешний контур	
	ПД регулятор	ПИД регулятор	ПИ-регулятор	ПИД-регулятор
ИКО	10.436	2.32	58.6	49.3
Перерегулирование	0.51	0,17	0.06	0.12
Время регулирования	60	24	450	410
Коэффициент затухания	44%	82%	100%	100%
Статическая ошибка	0.23	0	0	0

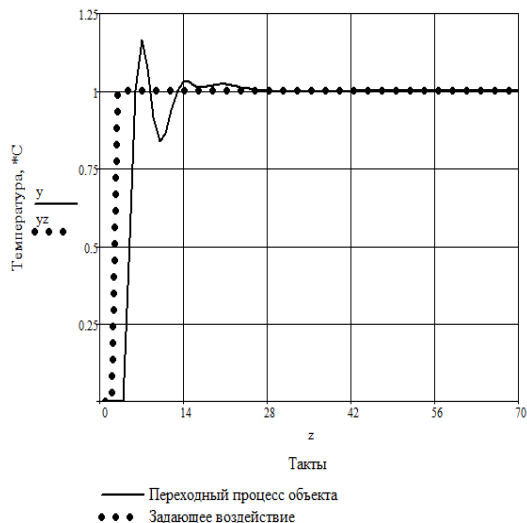


Рисунок 3 – Динамическая характеристика внутреннего контура с ПИД регулятором

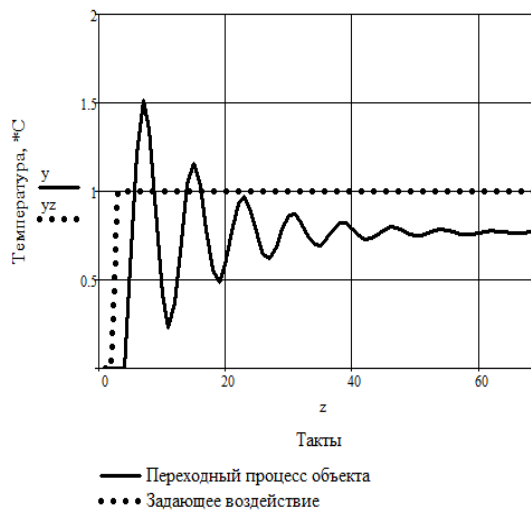


Рисунок 4 – Динамическая характеристика внутреннего контура с ПД регулятором

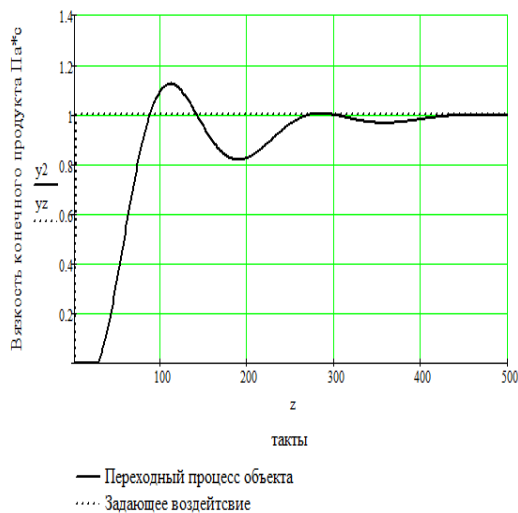


Рисунок 5 – Динамическая характеристика внешнего контура с ПИД регулятором

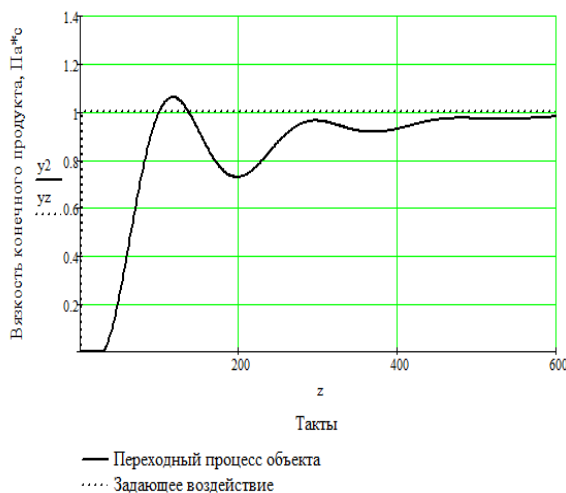


Рисунок 4 – Динамическая характеристика внутреннего контура с ПД регулятором

В качестве регулятора внутреннего контура выбрана структура ПИД, т.к. значение выбранного критерия (ИКО) меньше, чем у ПД регулятора. Для внешнего контура выбрана структура ПИД, т.к. значение выбранного критерия (ИКО) меньше, чем у ПИ регулятора.

На рисунке 7 представлены программы управления пуском и остановом электродвигателей насосов, а также регулируемыми клапанами.

Разработка мнемосхемы процесса с отображением текущих значений параметров и цветовым изображением состояний режимов работы насосов представлена на рисунке 8.

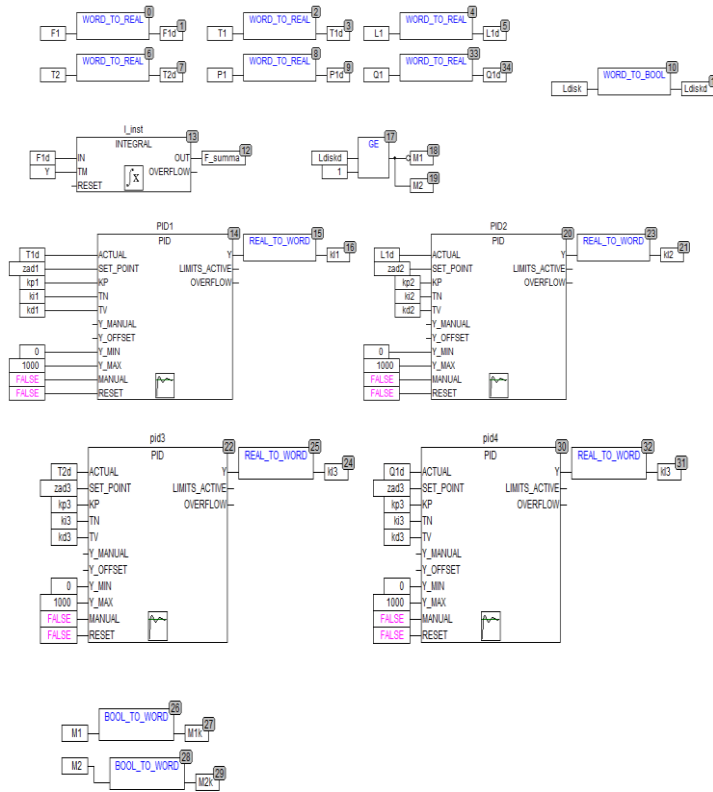


Рисунок 7 – Программы управления пуском и остановом электродвигателей насосов, и регулируемыми клапанами

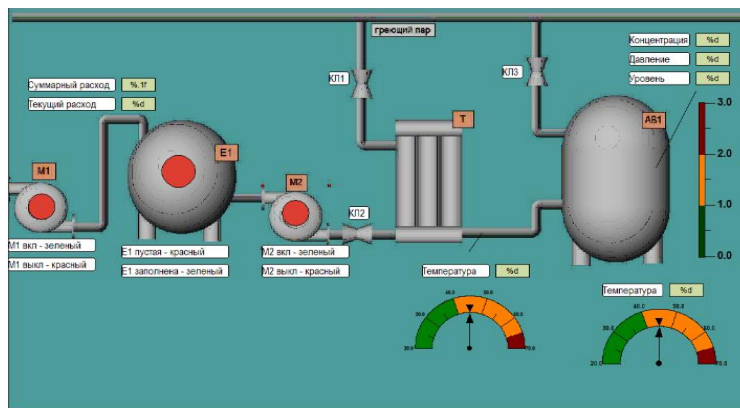


Рисунок 8 – Визуализация процесса выпаривания в производстве сгущённого молока

В ходе работы был проведён синтез цифровой каскадной системы регулирования температуры с коррекцией по вязкости конечного продукта, разработана мнемосхема процесса с отображением текущих значений параметров и цветовым изображением состояний режимов работы насосов, в которой реализован пуск и останов электродвигателей насосов.

Студ. О.А. Токарева
Науч. рук. проф. С.Г. Тихомиров
(кафедра информационных и управляющих систем, ВГУИТ)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗАДАННОГО КАЧЕСТВА

Использование вторичного сырья в качестве новой ресурсной базы - одно из наиболее динамично развивающихся направлений переработки полимерных материалов в мире. Качество переработки в значительной степени определяется системой управления технологическим процессом. При разработке таких систем необходимо учитывать:

- нестабильные характеристики сырья (параметры сырья являются не постоянными и зависят от ряда факторов);
- измерение этих характеристик в специализированной лаборатории является малоэффективным, так как они могут меняться в пределах партии сырья.

В этом случае возникает необходимость создания адаптивной системы управления технологическим процессом, которая на основании показания датчиков формирует управляющее воздействие на объект с учетом изменяющихся характеристик сырья. Для создания такой системы управления необходима разработка математической модели, учитывающей такие факторы как:

- геометрия рабочей зоны технологической установки и ее конструктивные особенности;
- изменяющиеся в процессе работы параметры сырья.

В настоящий момент существующие математические модели не учитывают перечисленных выше факторов. Поэтому разработка данной математической модели является актуальной задачей.

Для переработки и пластикации полимерных отходов наиболее широкое применение нашли отжимные машины. Современные системы автоматизированного проектирования позволяют исследовать влияние геометрической формы, материала изделия, режима нагрева на распределение полей температуры в нем по пространству, а также зависимость температуры от времени в любой точке конструкции. Так, например, система SolidWorks имеет встроенные средства моделирования, а также позволяет формировать 3D модель экструдера с учетом всех особенностей его конструкции (рисунок 1).

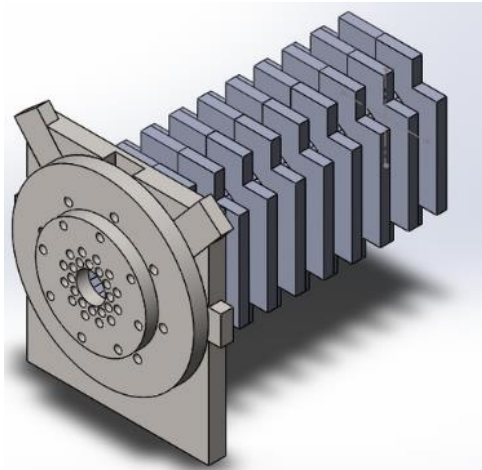


Рисунок 1 – Изометрическое изображение конструкции

В этой системе тепловое поле находится путем численного решения дифференциального уравнения в частных производных являющегося математической формой закона Фурье:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right)$$

Для решения этого уравнения задаются граничные условия, которые в рассматриваемом случае определяются технологическим процессом, протекающим внутри установки и ее условиями эксплуатации (температура внешней среды).

Система в автоматическом режиме формирует трехмерную сетку на конструкции машины и осуществляет расчет температурных полей для заданного интервала времени с заданной дискретизацией

Пример такого расчета для контрольной точки приведен на рисунке 2. Предполагается что в реальной технологической установке в этой точке размещается датчик температуры который подключен к контроллеру отжимной машины на базе которого и реализуется ПИД регулятор. Вид этой кривой говорит о аperiодическом характере передаточной функции объекта регулирования. Однако более точный вид передаточной функции может быть определен с использованием методов идентификации

С использованием среды Matlab получена передаточная функция объекта в виде аperiодического звена первого порядка.

$$W(s) = \frac{2.3}{1 + 3195.5s}$$

Система управления обеспечивает равномерное распределение температуры на фильтре, полученные значения используются в качестве граничных условий.

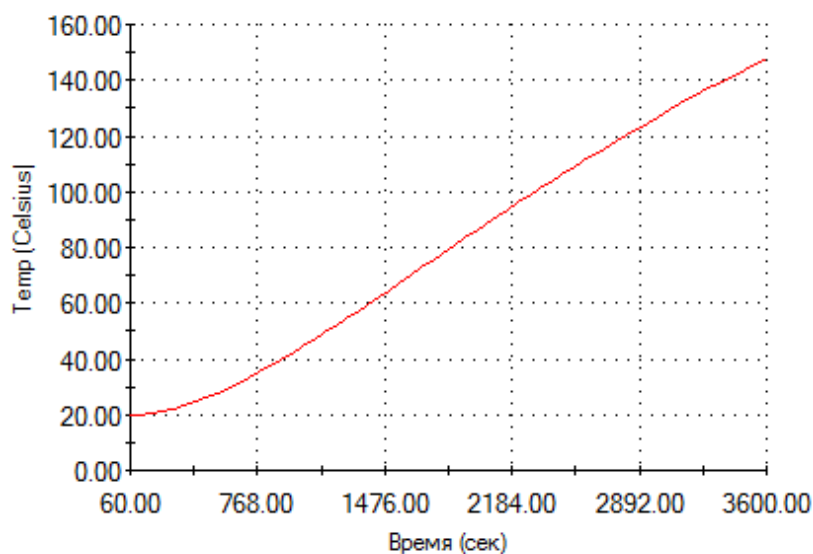


Рисунок 2 – Термическая эпюра

Процесс деструкции эластомерных материалов в отжимной машине описывается однопараметрической диффузионной моделью.

$$C_p(T(l,t)) \frac{\partial T(l,t)}{\partial t} = -u C_p(T(l,t)) \frac{\partial T(l,t)}{\partial l} + \lambda \frac{\partial^2 T(l,t)}{\partial l^2} + q(l,t)$$

$$q(l,t) = q_0 m_p \frac{\partial R(l,t)}{\partial t}$$

$$C_p(T(l,t)) = C_1 + C_2 T(l,t)$$

$$\frac{\partial R(l,t)}{\partial t} = -u \frac{\partial R(l,t)}{\partial l} + D \frac{\partial^2 R(l,t)}{\partial l^2} + W(R,T)$$

$$W(R,T) = k_1 P(0,t) - k_2 P(0,t) R(l,t)$$

$$k_i(T) = k_{0i} \exp\left(\frac{E_1}{RT}\right), i = 1,2$$

$$R(l,0) = 0, l \in (0, L)$$

$$R(t,0) = 0$$

$$T(l,0) = T(l), l \in (0, L)$$

$$T(L,t) = T_p, t \in (0, t_k)$$

Зная распределение концентраций активных радикалов в дальнейшем можно оценить вязкость по Муни - главный показатель качества полимеров

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМ СКАНИРУЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ

В настоящее время дифференциальные сканирующие калориметры производятся зарубежными фирмами (Setaram, Linseis Thermal Analysis, TA Instruments). Их использование, как правило, требуют существенных финансовых затрат, при значительном времени цикла анализа. Поэтому в условиях импортозамещения важной задачей является разработка устройства, обеспечивающего возможность оперативного исследования фазовых переходов в исследуемых материалах.

Цель данной работы является проектирование портативного недорогого устройства для экспресс-анализа температуры стеклования различных марок каучука и резиновых смесей на их основе. По этой причине разработка математического описания рабочей ячейки ДСК и процессов, протекающих в ней является актуальной задачей.

Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) - метод исследования физико-химических процессов, основанный на регистрации тепловых эффектов, сопровождающих превращения веществ в условиях изменяющихся температур. Этот метод позволяет фиксировать так называемые кривые нагревания или охлаждения исследуемого образца. В случае фазового превращения в веществе происходит выделение или поглощение теплоты и на кривой (термограмме) появляются площадка или изломы.

Скачок изменения теплоемкости происходит как при охлаждении так и при нагреве. В разрабатываемом устройстве определение температуры стеклования происходит в процессе нагрева, так как регулирование скорости охлаждения с большой точностью достаточно сложно технически реализовать, а осуществлять нагрев с заданной точностью значительно проще.

Процессы в ДСК крайне сложны и требуют при конструировании дифференциально-сканирующих устройств учета влияния на результат исследования геометрических параметров конструкции, скорости нагрева и охлаждения.

Современные системы автоматизированного проектирования позволяют исследовать влияние геометрической формы устройства, материала из которого оно изготовлено, режима нагрева на пространственное распределение температурных полей, а также зависимость

температуры от времени в любой точке устройства. Так, например, система SolidWorks имеет требуемые встроенные средства моделирования а также позволяет сформировать 3D модель рабочей ячейки с учетом всех особенностей конструкции. Система в автоматическом режиме формирует трехмерную сетку на конструкции устройства и осуществляет расчет температуры для заданного интервала времени с необходимой дискретизацией по времени. Пример такого расчета приведен на рисунке 1.

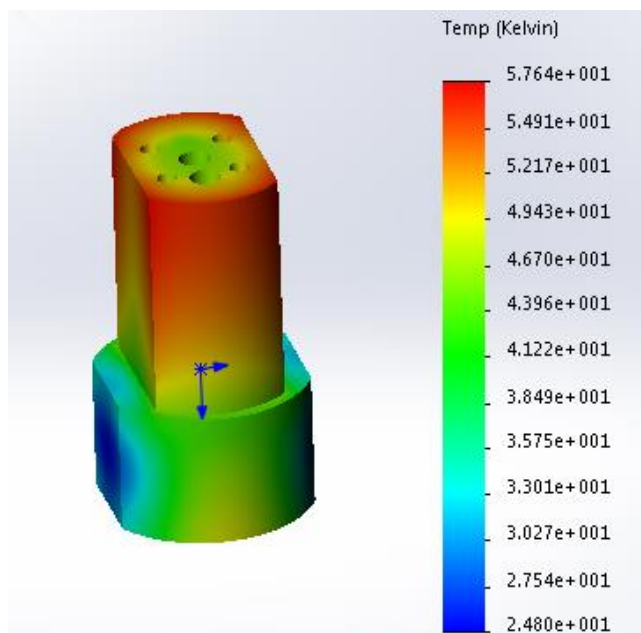


Рисунок 3 - Термическое изображение конструкции

В работе осуществлен синтез алгоритма управления нагревом рабочей ячейки дифференциального сканирующего калориметра. Для решения задачи управления предложено использовать адаптивный алгоритм с моделью, реализующий линейный закон нагрева. Реализация данного алгоритма на современной элементной базе позволяет строить компактные, надежные и точные линейные регуляторы нагрева для использования в измерительных приборах.

Реализация закона управления нагревом рабочей ячейки реализована при помощи цифрового ПИД регулятора. При этом диапазон температур нагрева разбивается на несколько интервалов, в каждом из которых коэффициенты регулятора настраиваются индивидуально. Точность аппроксимации линейного нагрева возрастает при увеличении количества таких интервалов.

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СУШКИ ЛЕЙКОПЛАСТЫРЯ

Процессы сушки различных продуктов в сушильных камерах конвекционного типа являются проблемными объектами для автоматизации и нуждаются в точном математическом описании. К таким процессам относится и сушка медицинского лейкопластыря от растворителя, в качестве которого используется бензин или нефрас. В данном процессе целевым параметром, который поддерживает система управления, является концентрация бензина в пластыре. Сушка осуществляется горячим воздухом, причем система управления может изменять как его расход, так температуру. Возмущениями чаще всего являются концентрация бензина в пластыре и температура пластыря на входе сушилки.

Математическое описание базируется на использовании уравнений материального и теплового балансов [1], а также нелинейного компонента, описывающего изменение константы фазового равновесия [2]. При моделировании были приняты следующие допущения:

1) изменение массы паровоздушной смеси (ПВС) в зоне сушки сравнительно мало и этим изменением можно пренебречь, считая что

$$M_{ПВС} = const ;$$

2) константа фазового равновесия K зависит только от температуры ПВС, а давление ПВС постоянно;

3) перемешивание ПВС в зоне сушки секции идеальное;

4) температура пластыря и концентрация бензина в нем изменяются линейно по длине в пределах секции.

Математическая модель отдельной секции сушильной камеры:

$$\frac{dX_K}{d\tau} = \frac{G_{ПВС.Н} \cdot X_H + G_{ИСП} - G_{ПВС.К} \cdot X_K}{M_{ПВС}},$$

$$\frac{dt_{ПВС.К}}{d\tau} = \frac{G_{ПВС.Н} \cdot c_{ПВС} \cdot t_{ПВС.Н} + G_{ИСП} \cdot c_B \cdot t_{ПЛ}^{CP} - G_{ПВС.К} \cdot c_{ПВС} \cdot t_{ПВС.К}}{M_{ПВС} \cdot c_{ПВС}} -$$

$$- \frac{F_{ПЛ} \cdot \alpha \cdot (t_{ПВС.К} - t_{ПЛ}^{CP})}{M_{ПВС} \cdot c_{ПВС}},$$

$$\frac{dW_{CP}}{d\tau} = \frac{G_{ПЛ.Н} \cdot W_H - G_{ПЛ.К} \cdot W_K - G_{ИСП}}{M_{ПЛ}},$$

$$\frac{dt_{ПЛ}^{CP}}{d\tau} = \frac{G_{ПЛ.Н} \cdot c_{ПЛ} \cdot t_{ПЛ.Н} - G_{ПЛ.К} \cdot c_{ПЛ} \cdot t_{ПЛ.К} - G_{ИСП} \cdot [J + c_B \cdot (t_{ПВС.К} - t_{ПЛ}^{CP})]}{M_{ПЛ} \cdot c_{ПЛ}} +$$

$$+ \frac{F_{ПЛ} \cdot \alpha \cdot (t_{ПВС.К} - t_{ПЛ}^{CP})}{M_{ПЛ} \cdot c_{ПЛ}},$$

$$X_K = K \cdot W_{CP}, \quad G_{ИСП} = G_{ПВС.К} - G_{ПВС.Н},$$

$$W_{CP} = \frac{W_H + W_K}{2}, \quad t_{ПЛ}^{CP} = \frac{t_{ПЛ}^H + t_{ПЛ}^K}{2},$$

$$W = \frac{G_B}{G_{ПЛ}} = \frac{G_B}{G_{ПЛ}^C + G_B}, \quad K = \frac{e^{A - \frac{B}{t_{ПВС.К} + C}}}{P_{ПВС}},$$

где G – массовые расходы ПВС, испаренного бензина (ИСП), пластыря (ПЛ); W_H, W_K – концентрация бензина в пластыре на входе и на выходе секции в массовых долях; X_H, X_K – концентрация бензина в ПВС на входе в секцию и на выходе секции в массовых долях; c – теплоёмкости ПВС, пластыря, паров бензина (Б); t – температуры ПВС, пластыря; M – массы ПВС, пластыря в секции; F – площадь пластыря; α – коэффициент теплоотдачи; J – энтальпия бензиновых паров; P – давление паровоздушной смеси; A, B, C – коэффициенты уравнения Антуана; K – константа фазового равновесия.

Математическая модель разрабатывалась для установки нанесения лейкокомасы и сушки лейкопластыря (рис. 1).

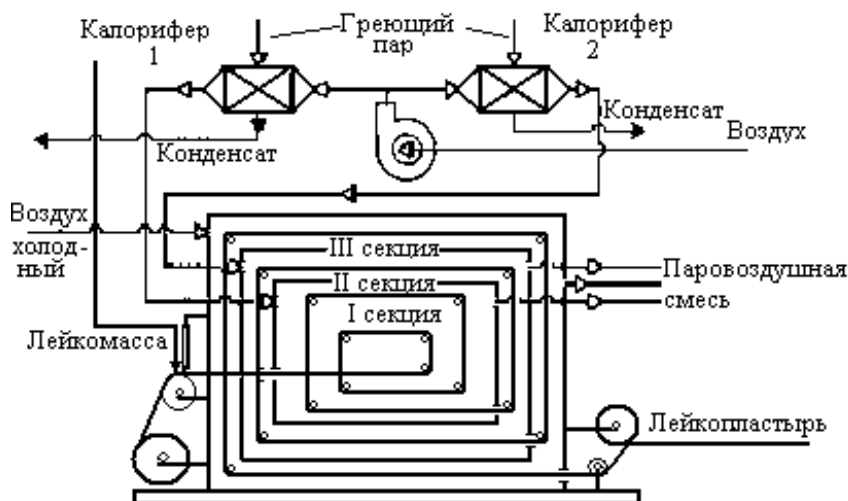


Рисунок 4 – Установка нанесения лейкокомасы и сушки лейкопластыря с трехсекционной сушильной камерой улиткообразного типа

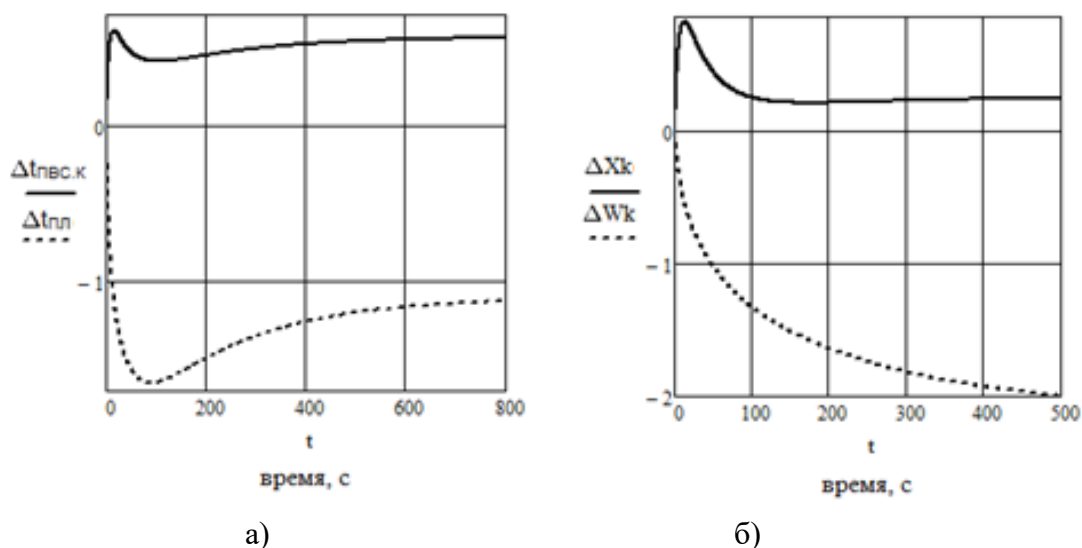
Установка представляет собой трехсекционную конвективную сушилку улиткообразной формы. Подача горячего воздуха в I и II зоны

сушки производится вентилятором через калориферы К1 и К2. Во время прохождения намазанной ленты через I и II зоны бензин испаряется, и масса на ленте просушивается. Пары бензина в смеси с воздухом (ПВС) отсасываются из I и II зоны сушильной камеры на рекуперационную установку. Высушенная лента охлаждается в III зоне установки холодным воздухом.

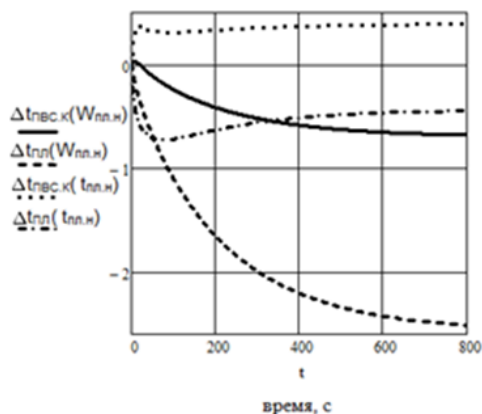
Для моделирования была выбрана вторая секция сушильной камеры. Моделирование осуществлялось в системе Mathcad. Пластырь во вторую секцию поступает с начальной температурой 40 оС и с 30 % содержанием бензина, сушка производится горячим воздухом с температурой 85 оС. Расход пластыря 0,27 кг/с, расход горячего воздуха 1,1 кг/с.

Решение уравнений модели для установившегося процесса при постоянных расходах, температурах и содержании бензина в ПВС и пластыре на входах секции сушильной камеры дали значение температуры пластыря на выходе секции, равное 54,58 оС, и содержание бензина в пластыре 16,2 %, что соответствует технологическому регламенту.

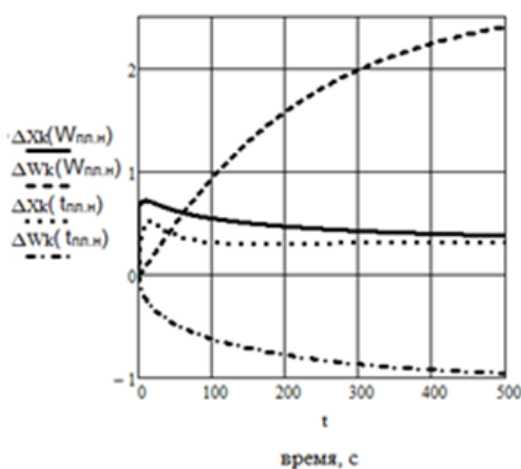
Решение исходных дифференциальных уравнений модели в переходных режимах (моделирование динамики процесса) осуществлялось при начальных условиях, полученных для установившегося режима из решения уравнений статики. Результаты решения, приведенные на рис. 2 и 3, даны в отклонениях от установившихся значений.



а) б)
Рисунок 2 – Графики изменения параметров на выходе секции при увеличении расхода ПВС на 0,1 кг/с: а) - температуры ПВС и пластыря в оС; б) - концентрации бензина в % в пластыре (W_k) и ПВС (X_k)



а)



б)

Рисунок 3 – Графики изменения параметров на выходе секции при увеличении начальной концентрации бензина в пластыре на 2 % и температуры пластыря на 2 °С: (а) - температуры ПВС и пластыря в °С, (б) - концентрации бензина в % в пластыре (W_k) и ПВС (X_k)

Проводя анализ результатов на предмет их соответствия физическим представлениям о процессах, протекающих в сушильных камерах конвективного типа, делаем вывод, что составленная математическая модель не содержит грубых ошибок и в дальнейшем может использоваться для синтеза автоматизированной системы управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Остриков, А. Н. Процессы и аппараты. Расчёт и проектирование аппаратов для тепловых и теплообменных процессов. [Текст]: учеб. пособие / А. Н. Остриков, В. Н. Василенко, Л. Н. Фролова, А. В. Терёхина. Санкт – Петербург: Лань, 2018. - 440с.
2. Уэйлес, С. Фазовые равновесия в химической технологии [Текст] / С. Уэйлес. В 2-х ч. Ч. 2. Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 360 с.

Магистрант И.В. Манойлин
Науч. рук. проф. И.А. Хаустов
(кафедра информационных и управляющих систем, ВГУИТ)

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОЙ АРМАТУРЫ

Наиболее распространённым элементом в системах управления технологическими процессами является электроприводная арматура (ЭПА). Существующие в настоящее время на предприятиях штатные методики контроля технического состояния ЭПА основываются на проведении в период ремонта комплекса проверок паспортных технических характеристик арматуры и её привода непосредственно по месту их эксплуатации [1]. Учитывая тот факт, что на предприятиях возможно наличие большого количества ЭПА, штатные методики не могут в полной мере обеспечить в период ремонта объёмы и оперативность выполнения операций контроля технического состояния и постановки диагноза состояния ЭПА, что для некоторых производств является актуальным вопросом [2]. В этой связи для принятия своевременных решений по предотвращению внеплановых остановов технологических процессов и помощи при принятии решения о дальнейшей дефектов ЭПА актуальной является задача по разработке диагностической системы, позволяющей в процессе эксплуатации осуществлять оперативный дистанционный контроль технического состояния и постановку диагноза состояния. Далее рассматривается выбор наиболее оптимальных параметров с экономической и технической точек зрения для построения диагностической системы определения состояния ЭПА.

В диагностической системе ЭПА возможно рассмотреть, как взаимодействие запорного органа и электродвигателя через упругую связь (рис. 1). Для приведения в движение арматуры, используется источник электроэнергии, электродвигатель преобразует ее в механическое вращательное движение, которое посредством редуктора передается на ходовую гайку. Ходовая гайка приводит в движение шток с запорным органом, перемещение которого контролируется при помощи концевых выключателей крайних положений и наличия усилия в муфте.



Рисунок 1 – Структурная схема связей электроприводной арматуры

На основании алгоритма работы и взаимодействия частей арматуры между собой и внешней средой, возможно построение диагностической модели, основанной на силовом взаимодействии электропривода и запорного органа (ЗП). При построении диагностической модели учитываются упругие связи и распределение моментов инерции между частями электродвигателя, привода и запорного органа [3].

При нормальном срабатывании арматуры все элементы будут приводиться в движение линейно по отношению к крутящему моменту электродвигателя, за исключением случаев внезапно возникающих сил торможения или ускорения диагностируемых узлов.

Осуществить контроль параметров в размерностях сил и моментов на практике оказывается технически довольно сложно при достаточно большом количестве электроприводной арматуры, поэтому наряду с данной диагностической моделью существует диагностическая модель, где в качестве основного диагностического параметра выступает активная мощность $P_{акт}$.

Электроэнергия, потребляемая электродвигателем из сети за определенный промежуток времени равна интегралу:

$$\Delta W = \int P_{акт}(t) dt$$

Эта энергия расходуется на изменение кинетической энергии движущихся частей электропривода, на электродинамические потери в электродвигателе и на преодоление сил трения. Выражение для преобразования энергии в электроприводе имеет вид:

$$\Delta W_{\Sigma} = \sum^i \Delta K_i + \sum^i \delta A_i + \delta W_{эл}, \quad (1)$$

где ΔK_i – изменение кинетической энергии каждого элемента электропривода; δA_i – потери энергии в каждом элементе из-за сил трения; $\delta W_{эл}$ – электродинамические потери в электродвигателе.

В установившемся режиме электропривода $\sum^i \Delta K_i = 0$, $\sum^i \delta A_i \gg \delta W_{эл}$. Во время переходных процессов, например, при «подрыве» запорного органа или пуске двигателя, величины $\sum^i \Delta K_i$ и $\delta W_{эл}$ становятся сравнимы с величиной $\sum^i \delta A_i$. Для каждого характерного участка работы электропривода можно установить определенные отношения между величинами $\sum^i \Delta K_i$, $\sum^i \delta A_i$ и $\delta W_{эл}$. При любом дефекте электропривода отношения между ними будут изменяться.

Диагностические признаки в этой модели определяются отклонением отношений величин $\sum^i \Delta K_i$, $\sum^i \delta A_i$ и $\delta W_{эл}$ от значений, соответствующих исправному электроприводе. Особое значение для диагностики имеет величина $\sum^i \delta A_i$, так как ее изменение на различных этапах работы электропривода является диагностическим признаком дефектов, связанных с изменением сил трения.

Согласно (1), все слагаемые могут рассматриваться как величины, отнесенные к нормирующим значениям, и при рассмотрении относительных диагностических параметров, таких как отношения:

мощности «подрыва» рабочего органа к мощности рабочего хода ($P_{подр} / P_{хода}$);

работы «до подрыва» к общей работе совершаемой за цикл ($A_{подр} / A_{общ}$);

мощности «затяжки» к мощности рабочего хода ($P_{затяг} / P_{хода}$);

пускового тока электродвигателя к току на рабочем ходе ($I_{пуск} / I_{хода}$);

пускового тока электродвигателя к номинальному току ($I_{подр} / I_{ном}$);

отношения времени рабочего хода к полному времени срабатывания ($T_{хода} / T_{сраб}$);

отношения времени «подрыва» к времени рабочего хода ($T_{подр} / T_{хода}$);

отношение токов в фазах привода электродвигателя А, В, С.

Мы исключаем из рассмотрения размерность величин, что позволяет отказаться от пересчета активной мощности в крутящий момент, и не проводить сложную процедуру определения переходных коэффициентов мощности и момента.

Ниже представлена таблица отношений основных параметров, необходимых для диагностики электроприводной арматуры, возможные причины изменения параметров, и рекомендации по устранению неисправностей ЭПА.

Таблица – Диагностические параметры для системы диагностики ЭПА

Вид неисправности	Возможные причины	Рекомендации к устранению
1	2	3
$P_{подр} / P_{хода}$ Значение больше номинального	1) Заклинивание ЗП 2) Установленная ЭПА не соответствует характеристикам протекающей среды в трубопроводе Возможное попадание инородного предмета под клапан	1) Ревизия ЭПА вместе с ЗП
$A_{подр} / A_{общ}$ $A_{подр} > A_{общ}$ $A_{подр} < A_{общ}$	1) Если $A_{подр}$ намного больше $A_{общ}$, то возможно попадания постороннего предмета, затирание ЗП, затирание запорного органа в месте уплотнения 2) Если $A_{подр}$ намного меньше $A_{общ}$, то возможен обрыв штока, отсутствие зацепления между ЭД и редуктором	1) Ревизия ЭПА

Продолжение таблицы

1	2	3
$R_{затяг} / R_{хода}$ Значение больше номинального	1) Неисправность моментных выключателей 2) Затирание штока в месте уплотнения	1) Настройка моментных выключателей 2) Ревизия ЭПА
$I_{пуск} / I_{хода}$ Значение отношения больше 15%	1) Неисправность в схеме подключения ЭД 2) Затирание ЗП 3) Неисправность редуктора	1) Проверка схемы подключения ЭД 2) Ревизия ЗП 3) Ревизия редуктора
$I_{подр} / I_{ном}$ Значение отношения больше 15%	1) Затирание ЗП 2) Попадание постороннего предмета 3) Наладка ЭПА на линии трубопровода без среды	1) Ревизия ЭПА вместе с запорным органом
$T_{хода} / T_{сраб}$ Значение отношения больше 5%	1) Неисправность цепей управления 2) Отсутствие зацепления между ЭД и редуктором 3) Неисправность концевых выключателей	1) Проверка цепей управления 2) Осмотр ЭПА и прокрутка её от ручного привода 3) Настройка концевых выключателей
$T_{подр} / T_{хода}$ Значение отношения больше 5%	1) Попадание постороннего предмета 2) Затирание штока в месте уплотнения 3) Перекос ЗП	1) Ревизия ЭПА вместе с ЗП
Асимметрия токов в фазах А, В, С	1) Плохой контакт в клеммном ряду 2) Неисправность ЭД	1) Протяжка контактов 2) Проверка изоляции ЭД

Вывод: предложенные диагностические параметры для системы диагностики состояния ЭПА позволяют определять основные неисправности ЭПА, при этом, с технической точки зрения, все параметры, возможно, получить с использованием лишь дополнительных датчиков тока и напряжения, которые возможно интегрировать в существующую АСУТП.

ЛИТЕРАТУРА

1. РД ЭО 0190-00. «Методика оценки технического состояния и остаточного ресурса арматуры технологических систем энергоблоков АЭС»

2. ПНАЭГ-7-008-89 «Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок», НП-011-99.

3. Адаменков А.К., Поваров В.П., Шаранов С.В. Диагностика электроприводной арматуры с использованием комплекса ПКСД-01. Изв. вузов Сев.- Кавк. регион., Технические науки, 2006, Приложение №1 6, с. 71-76.

Студ. Н.К. Образцов
 Науч. рук. проф. С.Г. Тихомиров
 (кафедра информационных и управляющих систем, ВГУИТ)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МЕХАНИЗМА РАДИАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА

В настоящее время одним из перспективных способов переработки резинотехнических изделий (РТИ) на основе предельных полимеров является радиационно-термическая деструкция. Технологический процесс осуществляется в 2 стадии. На первой проводится облучение материала в специальной камере гамма-квантами или пучком ускоренных электронов. Во время второй стадии обработанный материал подвергается термомеханической деструкции в диапазоне температур 100 - 160 0С. При этом, поскольку РТИ представляют собой пространственно шитую полимерную матрицу, то при термомеханических воздействиях процессы разрушения основных полимерных цепей и поперечных связей между ними протекают параллельно. Таким образом, в процессе радиационно-термической деструкции разрушение полимерной матрицы происходит по схеме (рис. 1):

Стадия химического превращения	Схема реакции
Термо-механическая обработка	$ \begin{array}{c} P - PK_1 2P \\ \rightarrow \\ PK_2 2R \\ \rightarrow \\ RK_3 2R \\ \rightarrow \\ R + RK_4 P \\ \rightarrow \end{array} $

Рисунок 1 - Схема механизмов химических превращений, протекающих в процессе деструкции полимера

Для исследования влияния дозы облучения, температуры и продолжительности стадии термомеханообработки на динамику процесса и качественные показатели готового продукта (вязкость по Муни (Mh) и средневязкостная молекулярная масса) целесообразно использовать методы математического моделирования. С учетом многостадийности процесса и в соответствии с механизмом реакций модель процесса представляет собой совокупность математических модулей, реализующих расчет химической кинетики процесса:

1. Разрушение поперечных связей:

$$S(t) = S_0 \cdot e^{-K_1 t}$$

2. Разрушение основных цепей полимерной матрицы:

$$\begin{cases} \frac{dP}{dt} = -K_2P + K_4R^2 \\ \frac{dR}{dt} = 2K_2P + K_3R - K_4R^2 \\ R(0) = 0 \\ P(0) = P_0 \end{cases}$$

Уравнение расчета констант скоростей реакций:

$$K_i = a_i \cdot e^{\frac{-Ea_i}{RT} + b_i\theta}, i = 1, \dots, 4$$

Расчет вязкости по Муни осуществляется по формуле:

$$Mh(t) = Mh(0) \cdot e^{-\left(\frac{A_3 R(t)}{P_0(\beta+1)} + a_2 t \cdot K_1\right)}$$

где β – константа Марка-Куна-Хаувинка; A_3, a_2 – константы; $S (P-P)$ – концентрация поперечных связей; P – текущая массовая доля полимера; R – текущая массовая доля образовавшихся радикалов (фрагментов макромолекул, подвергшихся деструкции); P_0 – исходная массовая доля полимера в бутилрегенерате, константы скоростей элементарных реакций K_1, K_2, K_3, K_4 ; $Mh(0)$ – вязкость по Муни полимерного образца после облучения.

В представленной модели идентифицируемыми параметрами являются константы скоростей и энергии активации химических реакций, для оценки которых использован программный модуль, разработанный на основе системы Matlab/Simulink (рис. 2). Оценка параметров выполнена с использованием данных лабораторных анализов, согласно следующему критерию:

$$J = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N (Mh^{ras} - Mh^{exp})^2 \rightarrow \min$$

где M – число экспериментов; N – число измерений в одном эксперименте.

Для идентификации параметров проведены экспериментальные исследования изменения Mh бутилрегенератов, полученных при разных дозах облучения, в зависимости от времени и температуры механообработки.

Результаты моделирования представлены на рисунке 3, где 1 – экспериментальные значения $Mh(t)$ при дозе облучения 250 кГр и температуре обработки 100°C; 2 – рассчитанные по модели значения $Mh(t)$ при дозе облучения 250 кГр и температуре обработки 100°C; 3 – экспериментальные значения $Mh(t)$ при дозе облучения 250 кГр и температуре обработки 120°C; 4 – рассчитанные по модели значения $Mh(t)$ при дозе облучения 250 кГр и температуре обработки 120°C; 5 – экспериментальные значения $Mh(t)$ при дозе облучения 250 кГр и температуре обработки 140°C; 6 – рассчитанные по модели значения $Mh(t)$ при дозе облучения 250 кГр и температуре обработки 140°C; 7 – эксперимен-

тальные значения $Mh(t)$ при дозе облучения 250 кГр и температуре обработки 160°C; 8 – рассчитанные по модели значения $Mh(t)$ при дозе облучения 250 кГр и температуре обработки 160 °C

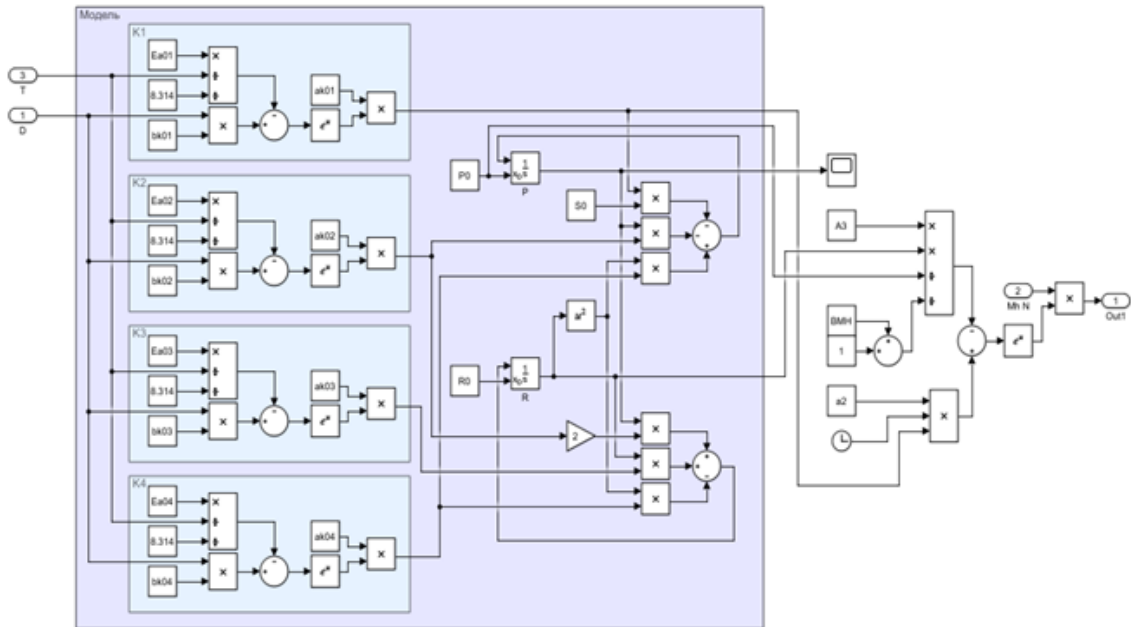


Рисунок 2 - Simulink модель процесса термомеханической деструкции

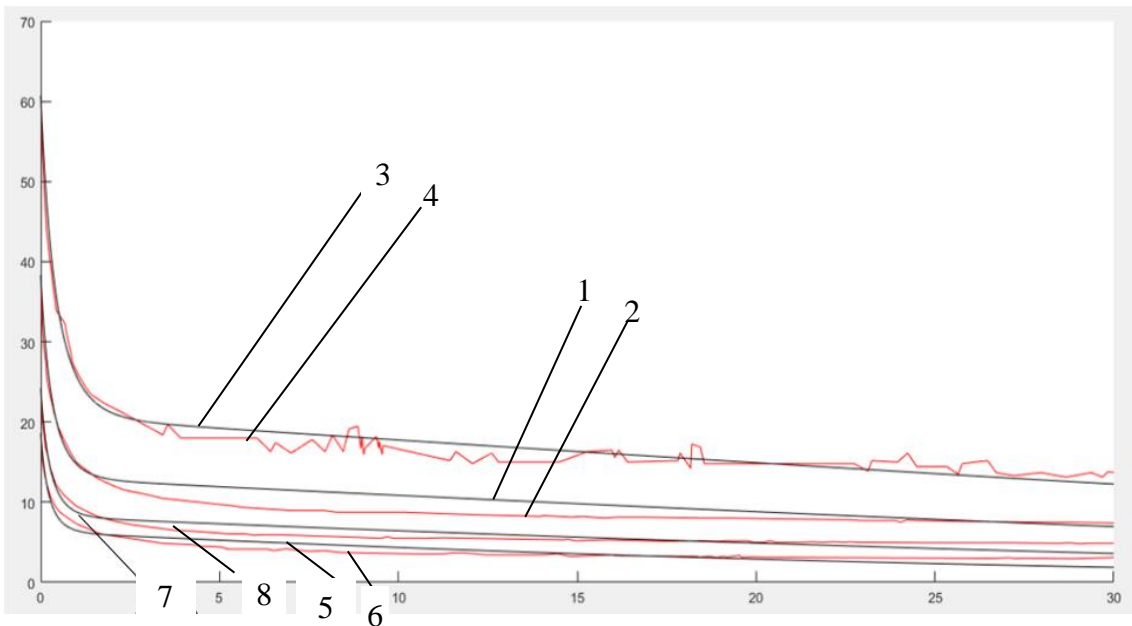
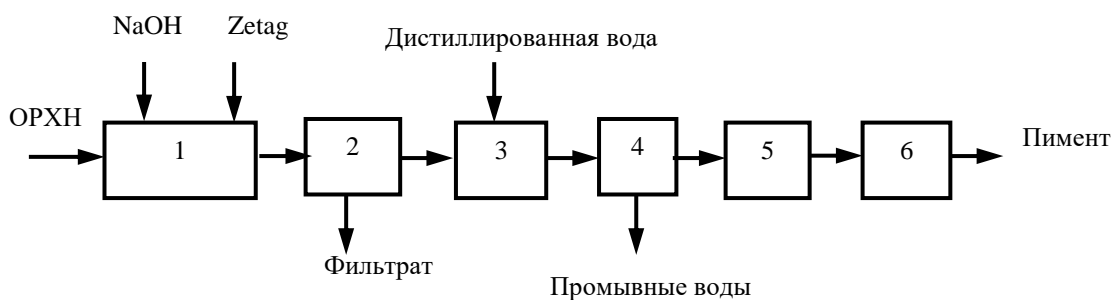


Рисунок 3 – Изменение величины вязкости по Муни в процессе термомеханической обработки полимерного материала

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЛУЧЕНИЯ ПИГМЕНТА ИЗ ОТРАБОТАННОГО РАСТВОРА ХИМИЧЕСКОГО НИКЕЛИРОВАНИЯ

Отработанные растворы химического никелирования (ОРХН) представляют собой жидкий отход производства, который характеризуется высокой концентрацией ионов Ni^{2+} . Учитывая хромофорные свойства соединений никеля, нами было предложено получение из ОРХН никельсодержащего пигмента зеленого цвета [1].

Принципиальная схема получения пигментов из отработанных растворов химического никелирования представлена на рисунке.



1 –осаждение Ni^{2+} гидроксидом натрия; 2 – фильтрование; 3 – промывка;
4 – обезвоживание осадка; 5 – сушка; 6 – измельчение

Рисунок – Принципиальная схема получения пигмента из отработанного раствора химического никелирования

Для реализации представленной схемы было подобрано необходимое технологическое оборудование. Для осаждения Ni^{2+} предлагается использовать реактор-смеситель периодического действия с мешалкой. В качестве осадителя используется насыщенный раствор гидроксида натрия, для облегчения седиментации полученного гидроксида никеля в реактор добавляется флокулянт Zetag. Использование названного флокулянта также позволяет снизить удельное сопротивление осадка, что облегчает его дальнейшее обезвоживание. Для разделения твердой и жидкой фаз предлагается использовать нутч-фильтр. Отфильтрованный осадок содержит большое количество растворимых соединений, для отмывки от которых применяется шести-ступенчатая противоточная промывка водой. Промывка осуществляется в сгустителях со скребковыми тихоходными мешалками, обезвоживание полученного гидроксида никеля – на вакуум-фильтре. После

сушки в электрической сушильной камере материал подвергается помолу в шаровой мельнице.

Для определения расходных коэффициентов был составлен материальный баланс получения пигмента из ОРХН. Расчет производился на 1 дм³ отработанного раствора химического никелирования плотностью 1,13 г/см³. Расчет необходимого количества реагентов для переработки производился в соответствии с установленными ранее условиями осаждения Ni²⁺ гидроксидом натрия [2]. Влажность осадка после фильтрации принималась равной экспериментальной (86,0%). Необходимый объем воды для промывки был установлен опытным путем. Расчет производился отдельно для каждой стадии технологического процесса. В таблице приведен материальный баланс стадии осаждения Ni²⁺ гидроксидом натрия из отработанного раствора химического никелирования.

Таблица – Материальный баланс осаждения Ni²⁺ гидроксидом натрия из ОРХН

Приход	г	%	Расход	г	%
1. Отработанный раствор химического никелирования, в т.ч.:	1130	100	1. Суспензия, в т.ч.:	2266,40	100
–NiSO ₄ ·7H ₂ O	38,10	3,38	– смесь нестехиометрических гидроксидов никеля+примеси	19,84	0,88
–NaH ₂ PO ₂ ·H ₂ O	43,96	3,89			
– глицин	11,30	1,0			
– малоновая кислота	22,60	2,0	– жидкая фаза, в т.ч.:	2246,5605	99,12
– CuSO ₄	0,45	0,04	– NiSO ₄	Следы	–
– вода с примесями (Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Mg ²⁺ и др.)	1013,59	89,69	– Na ₂ SO ₄	19,66	0,87
			– Na ₂ HPO ₃	53,09	2,35
2. Раствор осадителя, в т.ч.:	1131,40	100	– Na ₃ PO ₄	68,02	3,0
			– глицин	Следы	–
–NaOH	359,09	31,7	– пропандионат натрия	27,38	1,21
			– Cu(OH) ₂	0,28	0,01
			– Zetag	Следы	–
– вода	772,31	68,3	– NaOH	35,91	1,58
3. Флокулянт	5,005	100	– глицинат натрия	14,61	0,64
– Zetag	0,005	0,1			
– вода	5	99,9	– вода с примесями (Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Cu ²⁺ , SO ₄ ²⁻ и др.)	2027,610	89,46
Итого	2266,40		Итого	2266,40	

Аналогичным образом были составлены материальные балансы стадий фильтрации, отмывки образовавшегося осадка от водорастворимых примесей, фильтрации после промывки, сушки.

В результате расчетов было установлено, что при переработке 1 дм³ отработанного раствора химического никелирования можно получить 17,4 г пигмента. Для получения 1 кг зеленого никельсодержащего пигмента потребуется 57,4 дм³ ОРХН, 20,6 кг гидроксида натрия и 159 дм³ воды.

Для предложенной технологии переработки жидкого отхода (отработанного раствора химического никелирования) также были проведены экономические расчеты. Было установлено, что динамический срок окупаемости составит 6,8 года, чистый дисконтированный доход 60,76 тыс. руб., индекс прибыльности 1,28, что свидетельствует об экономической целесообразности получения пигмента из ОРХН.

Таким образом, отработанные растворы химического никелирования могут рассматриваться как ценный вторичный материальный ресурс и использоваться для получения пигментов, производство которых в Республике Беларусь отсутствует.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалева, А.А. Характеристика отходов химического никелирования и основные способы обращения с ними / А.А. Ковалева, О.С. Залыгина // Материалы XXII Международной научно-технической конференции «Технология-2019» – Северодонецк: Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, 2019. – С.110-112.

2. Ковалева, А.А. Определение условий осаждения ионов Ni (II) из отработанных электролитов химического никелирования // Сборник научных работ 70-ой научно-технической конференции студентов и магистрантов. – Часть 2 – Минск: БГТУ, 2019. – С. 362-366.

УДК 674.8

Вып. М.В. Протас

Науч. рук. доц. Л.А. Шибека (кафедра промышленной экологии, БГТУ)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Деревообрабатывающая промышленность относится к числу динамически развивающихся отраслей народного хозяйства Республики Беларусь. Согласно статистическим данным[1] в Республике Беларусь в 2018 году данной отраслью промышленности был выпущен

широкий ассортимент продукции: пиломатериалы – 4046 тыс. м³; шпон лущенный – 8026 м³; шпон строганный – 2277 тыс. м³; плиты древесностружечные – 2758 тыс. усл. м³; плиты древесноволокнистые – 194170 тыс. усл. м²; панели или плиты паркетные собранные – 700,9 тыс. м²; окна, двери деревянные – 1984 тыс. м²; поддоны плоские деревянные – 11603 тыс. шт.; ящики, коробки, упаковочные корзины и аналогичная деревянная тара и их части – 96,8 тыс. м³ и др.

В процессе заготовки древесины, ее обработки и изготовлении продукции образуются отходы. Они представлены отходами коры, опилками, стружкой, кусковыми отходами, шлифовальной пылью и т.д. Указанные отходы согласно классификатору отходов Республики Беларусь [2] делятся на три группы: «Отходы обработки и переработки древесины», «Древесные отходы производства и потребления» и «Древесные отходы, полученные в процессе лесозаготовки».

В соответствии с [2] древесные отходы имеют третий или четвертый класс опасности или относятся к группе неопасных отходов. Несмотря на известные направления использования данных отходов в различных сферах жизнедеятельности значительная часть отходов лесозаготовки деревообработки остается невостребованной.

Цель работы – оценка возможности использования древесных отходов в процессах очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов.

Объектами исследований выступали: древесные отходы (древесная кора и щепа с размером частиц до 30 мм); вышеуказанные древесные отходы, обработанные карбамидом; механическая смесь, состоящая из древесных отходов, обработанных карбамидом, и торфа в массовом соотношении 1:1; механическая смесь, состоящая из древесных отходов, обработанных карбамидом, опилок и торфа в массовом соотношении 1:4:5.

Концентрация ионов меди или никеля в модельных сточных водах составляла 0,2-2,5 г/дм³. Навеску образца материалов помещали в химический стакан, приливали раствор с известной концентрацией металла и производили периодическое перемешивание пробы в течение 1,5 часа. Далее разделяли суспензию фильтрованием и определяли содержание ионов металлов в фильтрате титриметрическим методом [3]. На основании полученных результатов производили расчет поглотительной емкости исследуемых образцов.

Поглотительная емкость образцов по ионам меди представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Поглощительная емкость образцов по ионам меди, мг/г

Начальная концентрация ионов меди, г/дм ³	Древесные отходы	Древесные отходы, обработанные карбамидом	Механическая смесь, состоящая из	
			древесных отходов, обработанных карбамидом, и торфа в массовом соотношении 1:1	древесных отходов, обработанных карбамидом, опилок и торфа в массовом соотношении 1:4:5
0,2	0,2	8,5	0,2	8,5
0,4	8,7	17,0	0,4	8,8
0,6	17,3	25,5	3,4	17,3
0,8	17,4	34,0	34,0	34,0
1,0	17,6	42,5	34,2	42,5
1,2	17,8	49,0	34,3	42,8
1,4	17,9	51,3	34,6	42,8
1,6	18,1	51,3	34,8	43,0
1,8	18,1	51,3	34,8	43,0
2,0	18,1	51,3	34,8	43,0
2,5	18,1	51,3	34,8	43,0

Установлено, что наименьшей поглощительной способностью в отношении ионов меди, содержащихся в сточных водах, характеризуются древесные отходы. Для данного образца предельная величина поглощительной емкости составляет 18,1 мг/г.

Максимальная величина поглощительной емкости (51,3 мг/г) наблюдается у древесных отходов, обработанных карбамидом. Это согласуется с литературными данными [4]: обработка карбамидом целлюлозосодержащих материалов увеличивает их сорбционную емкость за счет формирования дополнительных карбоксильных групп и первичных аминогрупп на поверхности сорбента.

Введение в состав образца древесных отходов, обработанных карбамидом, торфа не приводит к росту сорбционных свойств исследуемых материалов. Так, предельная величина поглощительной емкости данного образца составляет 34,8 мг/г.

Исследование поглощительной емкости механической смеси, состоящей из древесных отходов, опилок и торфа, свидетельствует о увеличении степени извлечения ионов меди. Однако, предельное значение поглощительной емкости для данного образца (43 мг/г) не превышает величины, полученной для древесных отходов, обработанных карбамидом.

Значения поглощительной емкости образцов по ионам никеля представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Поглощительная емкость образцов по ионам никеля, мг/г

Начальная концентрация ионов меди, г/дм ³	Древесные отходы	Древесные отходы, обработанные карбамидом	Механическая смесь, состоящая из	
			древесных отходов, обработанных карбамидом, и торфа в массовом соотношении 1:1	древесных отходов, обработанных карбамидом, опилок и торфа в массовом соотношении 1:4:5
0,2	0,6	0,5	0,6	0,5
0,4	1,3	7,3	1,3	1,3
0,6	1,9	14,0	1,9	8,0
0,8	2,5	20,8	8,6	20,8
1,0	3,1	27,8	15,0	22,1
1,2	3,8	35,0	20,0	25,4
1,4	4,5	42,0	20,8	28,5
1,6	5,0	50,0	21,5	29,2
1,8	5,2	54,6	21,5	30,0
2,0	5,2	54,6	21,5	30,0
2,2	5,2	54,6	21,5	30,0
2,5	5,2	54,6	21,5	30,0

Из представленных результатов видно, что максимальная величина поглощительной емкости (54,6 мг/г) в рассматриваемом диапазоне начальных концентраций ионов никеля в сточной воде наблюдается у древесных отходов, обработанных карбамидом (также как для ионов меди).

Динамика изменения предельных величин поглощительной емкости всех остальных исследуемых образцов аналогична тем, которые получены в отношении ионов меди. Так, механическая смесь древесных отходов, обработанных карбамидом, и торфа характеризуется величиной предельной поглощительной емкости равной 21,5 мг/г, что примерно в 2,5 раза меньше, чем у образца древесных отходов, обработанных карбамидом. Введение в состав механической смеси опилок незначительно увеличивает поглощительную емкость (предельное значение составляет 30,0 мг/г).

Таким образом, древесные отходы могут найти применение в практике очистки сточных вод. Для извлечения из сточных вод ионов меди и никеля наиболее эффективным является использование древесных отходов, обработанных карбамидом.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что минимальной поглощительной способностью в отношении ионов меди и никеля характеризуется исходный образец древесных отходов.

Установлено, что древесные отходы, обработанные карбамидом, характеризуются большей способностью извлекать из сточных вод ио-

ны никеля, чем ионы меди. Однако в отношении всех остальных исследуемых образцов данная закономерность не прослеживается.

Показано, что добавление торфа в состав древесных отходов, обработанных карбамидом, существенно снижает способность смесей извлекать как ионы меди, так и ионы никеля.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что механическая смесь, состоящая из древесных отходов, обработанных карбамидом, опилок и торфа характеризуется большей эффективностью извлекать как ионы меди, так и никеля по сравнению со смесью, не содержащей опилки.

Использование древесных отходов на практике можно рекомендовать при очистке (доочистке) сточных вод, образующихся в гальванических производствах, от ионов тяжелых металлов. Актуально это в отношении предприятий, вблизи которых имеются деревообрабатывающие производства, где образуются древесные отходы, что позволит снизить затраты на транспортировку отходов.

Для реализации на практике данного варианта очистки стоков необходимо провести дополнительные исследования с учетом фактического состава сточных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Промышленность Республики Беларусь. Статистический сборник. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2019. – 199 с.

2. ОКРБ 021-2019 «Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь» // Утв. постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 09.12.2019 г. № 3-Т.

3. Лихачева, А.В. Химия окружающей среды. Лабораторный практикум: учеб.- метод. пособие для студ. / А.В. Лихачева, Л.А. Шибека. – Минск: БГТУ, 2011. – 204 с.

4. Лосев, В.Н. Сорбционно-атомно-эмиссионное определение цветных и тяжелых металлов с использованием фитосорбентов / В.Н. Лосев, О.В. Буйко, Б.А. Величко // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. – 2010. – №3. – С. 73–78.

ПЕРЕРАБОТКА ЛАБОРАТОРНЫХ ОТХОДОВ

При работе в лаборатории невозможно обойтись без специальных химических реактивов, которые служат для достижения определенных реакций. Показатели физико-химических свойств реактивов, сроки годности и хранения регламентированы действующими ГОСТ и техническими условиями. Соответственно действующим правилам ГОСТ, на химическую продукцию гарантийный срок хранения, т. е. период, в который реактив не изменяет свои свойства.

Чем дольше хранится химический реактив, тем больше вероятность, что его свойства изменились. Если свойства изменились, то такой реактив является непригодным для использования и в такой ситуации он переходит в разряд лабораторных отходов.

Переработка лабораторных отходов – сложная задача, решение которой требует соблюдения всех установленных правил при работе с химическими веществами. Законодательством допускаются такие варианты обращения с лабораторными отходами, как:

- термическая обработка (сжигание отходов без доступа к ним кислорода);
- химическая нейтрализация (перевод химического вещества в безопасную массу).

Запрещено размещать химические отходы в окружающей среде, это опасно для здоровья человека и состояния природы.

В данной работе рассматривается возможность переработки такого реактива с истекшим сроком годности (лабораторного отхода), как ацетата никеля.

Основная идея работы заключается в использовании ацетата никеля как сырьевого ресурса для получения никельсодержащих пигментов.

На первом этапе работы исследуется возможность термического разложения ацетата никеля при температурах от 240 до 900 °С. На рисунке 1 представлена сравнительная характеристика прокаленных остатков, полученных при разных температурах. Как видно из представленных данных, предварительная сушка отхода не влияет на количественные и качественные результаты исследований. Массы, получаемых продуктов отличаются незначительно (в пределах погрешности), цветовая гамма получаемых материалов одинаковая.

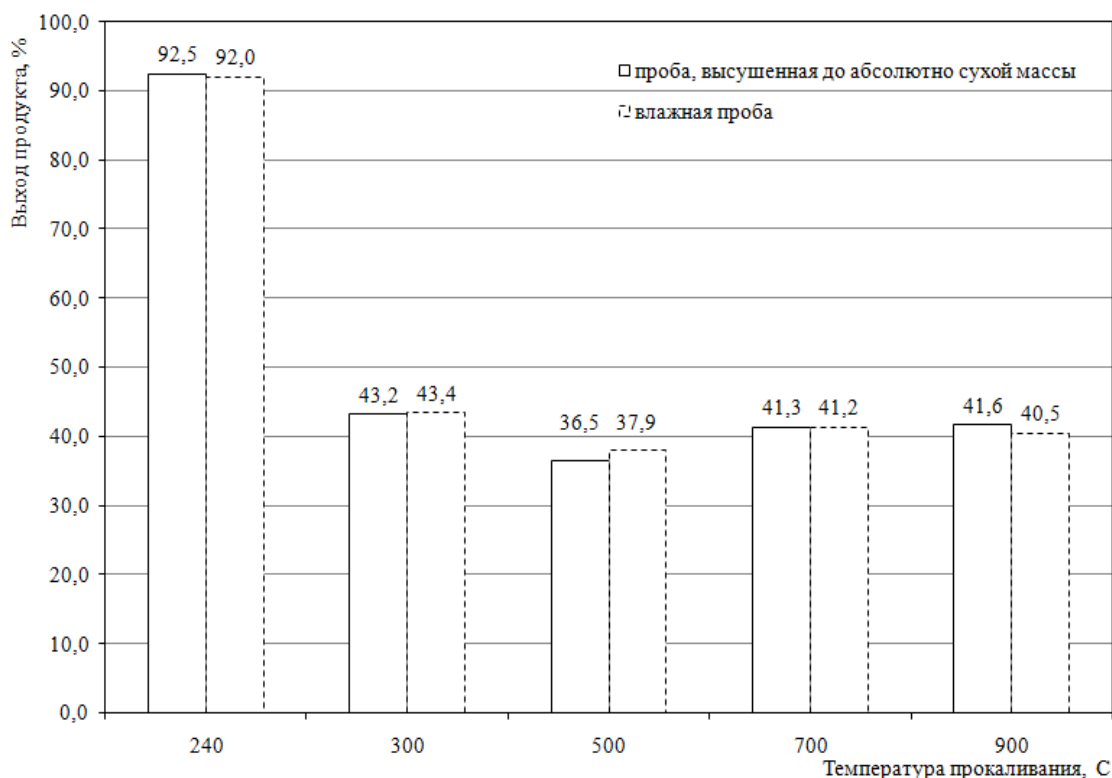


Рисунок 1 – Зависимость выхода продукта разложения ацетата никеля от температуры прокаливания

Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты термического разложения ацетата никеля

Наименование пробы	Температура прокаливании пробы, °C	Масса соли, взятой для исследований, г			Масса остатка после прокаливания, г	Выход продукта, %
		$\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	в пересчете на $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	в пересчете на NiO		
Естественной влажности	240	26,3156	18,69801	7,904308	17,2064	92,0
	300	23,5904	16,76167	7,085751	7,2715	43,4
	500	33,1705	23,56862	9,963286	8,9377	37,9
	700	20,255	14,39177	6,08391	5,9352	41,2
	900	28,9138	20,54411	8,684718	8,3198	40,5
Предварительно высушенная	240	28,4155	20,19005	8,535046	18,668	92,5
	300	24,8819	17,67932	7,473673	7,6361	43,2
	500	31,3281	22,25954	9,409892	8,122	36,5
	700	28,8287	20,48364	8,659157	8,4608	41,3
	900	24,2933	17,26111	7,296878	7,1815	41,6

Результаты исследований показывают, что при температуре 240 °C разложение ацетата никеля не происходит, т.к. при данной температуре еще не завершен процесс удаления кристаллогидратной

воды. Повышение температуры до 300 °С приводит к разложению ацетата никеля приблизительно на 98 %. В диапазоне температур от 500 до 900 °С ацетат никеля разлагается полностью, о чем свидетельствует то, что масса прокаленного остатка меньше массы оксида никеля, который по теоретическим расчетам может быть получен из взятых проб. Полученные результаты позволяют предположить, что при этих температурах уже наблюдается начало процесса разложения оксида никеля до никеля. Возможность протекания этого процесса подтверждается данными, приведенными в [1], где показано, что в инертной среде при 500 °С ацетат никеля разлагается с образованием порошкового никеля. Для подтверждения этого нам необходимо провести качественный анализ образцов, полученных при термическом разложении ацетата никеля.

Таким образом, при правильной организации системы сбора, классификации и последующей переработки лабораторных отходов, они могут рассматриваться в качестве альтернативных сырьевых ресурсов. Так, например, ацетат никеля можно рассматривать как сырье для получения оксида никеля, применяемого при получении солей никеля (II), никельсодержащих катализаторов и ферритов, как зелёного пигмента для стекла, глазурей и керамики [2].

Исследования в данном направлении продолжаются и в соответствии с данными, представленными в литературном источнике [1], при высокотемпературном разложении ацетата никеля возможно получение другого продукта – высокодисперсного порошкового никеля, который находит широкое применение в порошковой металлургии, в качестве катализаторов в химической промышленности, в производстве изделий из полимерных материалов и в лакокрасочной промышленности, при изготовлении пирофоров и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каменщиков, О.Ю. и др. Синтез дисперсного никеля термическим разложением формиата, ацетата и оксалата никеля (II) / Каменщиков, О.Ю., Кетов, А.А., Корзанов, В.С., Красновских, М.П. // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2018. Т. 8, вып. 3. С. 278–285.

2. Волков, А.И., Жарский, И.М. Большой химический справочник / А.И. Волков, И.М. Жарский. – Минск: Современная школа, 2005. – 608 с.

БИОКОМПОСТИРОВАНИЕ ОТХОДОВ ЗАО «ВИТЭКС»

Закрытое акционерное общество «Витэкс» одно из ведущих предприятий Беларуси по производству косметических средств и товаров бытовой химии, положившее начало развитию косметической отрасли в республике и успешно работающее на рынке более 25 лет.

В 2009 году на предприятии ЗАО «Витэкс» было открыто производство экстрактов из высококачественного растительного сырья, выращиваемого на землях сельскохозяйственного филиала предприятия. В этом технологическом процессе образуются отходы четвертого класса опасности в количестве 4,2 т/год, которые на данный момент не используются и вывозятся на объекты захоронения отходов. Отходы представляют собой смесь отработанного растительного сырья и экстрагента.

Для используемых в работе отходов был определен состав, который по массовому соотношению составил: остатки женьшеня – 22,6 %; раствор пропиленгликоля – 77,4 %; остатки корня лопуха – 91,3 %; растительное масло – 8,7 %; остатки цветков ромашки – 22,2 %; раствор пропиленгликоля – 77,8 %; остатки мать-и-мачехи – 17,2 %; раствор пропиленгликоля – 82,8 %; остатки череды – 25,9 %; раствора пропиленгликоля – 74,1 %.

На основании литературных данных установлено, что перерабатывать данные отходы можно несколькими способами. Например, переработка отходов растительного сырья с получением топливных гранул, пеллетов, брикетов является высокорентабельным способом экономии энергоресурсов. Но так как отходы содержат экстрагент и содержание его достаточно велико, то данный метод является нецелесообразным, поскольку перед переработкой необходимо производить разделение данных отходов и, возможно, подсушку до влажности 8-10%.

Следующий способ переработки заключается в использовании отходов растительного сырья для получения пищевых добавок кормовой витаминной муки, используемой в животноводстве. Объемы производства сырья, малоиспользуемого, но потенциально пригодного для кормовых целей, многократно превосходят объемы специально производимых фуражных компонентов. А количество кормов, которое может быть получено из неиспользуемых отходов, значительно превосходит общую потребность в кормах.

В последнее время уделяется большое внимание переработке отходов растительного сырья для получения органических удобрений, поэтому предлагается рассматриваемые отходы биокомпостировать, что позволит решить актуальную для предприятия проблему.

Работа выполнялась в несколько этапов. На первом этапе были отобраны пробы отходов, и проведен анализ состава данных отходов по таким показателям как влажность, зольность, рН солевой вытяжки, содержание азота, фосфора и калия и др.

На следующем этапе данные отходы использовали при составлении компостируемых смесей. При этом в качестве структурообразующей добавки использовали опилки либо кору. Главное назначение наполнителей заключается в снижении влажности отходов, улучшения фильтрационных характеристик компостной смеси за счет повышения ее пористости и, как следствие, обеспечение ее аэрируемости и протекания аэробных процессов разложения. Отходы, которые по структуре подобны структурообразующей добавки, можно компостировать без её добавления (например, отходы корня лопуха). Для компостирования готовили пробы как отдельно отходов, так и их смесей.

На третьем этапе проводилось непосредственно компостирование. При этом соблюдали следующие параметры процесса компостирования: влажность 60 %; рН компостной смеси 6,5-8; температурный режим 45-80 °С; перемешивание через каждые две недели.

Вода необходима в процессе компостирования, так как питательные вещества, потребляемые организмами, должны растворяться в воде перед тем, как станут им доступны. Она образуется в ходе самого процесса и теряется за счет испарения. В случае применения принудительной аэрации потери воды могут быть значительны, и возникает необходимость в дополнительном внесении воды.

При естественной аэрации центральные участки компостируемой массы могут оказаться в условиях анаэробнобиоза, поскольку скорость диффузии кислорода слишком низка для протекающих метаболических процессов. В таких случаях перемешивание позволяет воздуху проникать в эти участки.

По истечению десяти месяцев в полученных продуктах определяли влажность, зольность, рН солевой вытяжки и содержание азота, фосфора и калия.

Конечный продукт, компост, наиболее стабильные органические соединения, продукты распада, биомассу мертвых микроорганизмов, некоторое количество живых организмов (при компостировании проб, содержащих корни лопуха, на протяжении всего периода наблюдалось

присутствие в пробах червей, насекомых и пр.) и продукты химического взаимодействия этих компонентов.

По результатам третьего этапа установили, что наибольшей степени биodeградации подверглись пробы, содержащие такой отход как корень лопуха после масляной экстракции. Эти же пробы характеризуются наибольшим содержанием соединений азота, фосфора и калия. Однако результаты свидетельствуют, что компостирование нужно продолжать, так как растительное масло замедляет процесс.

В остальных пробах процесс деградации идёт ещё медленнее, что связано с тем, что растительные отходы содержат пропиленгликоль, который используется при получении экстрактов. Установлено, что пропиленгликоль обладает бактерицидными свойствами, поэтому процесс компостирования существенно замедляется.

На основании выводов, сделанных по проведенной экспериментальной части, считается целесообразным предусмотреть предварительную подготовку исследуемых отходов к процессу компостирования, поэтому предлагается два варианта технологических схем.

Первый вариант будет включать фильтрацию либо центрифугирование, для того чтобы отделить растительное масло либо пропиленгликоль от отходов. Второй вариант кроме фильтрации либо центрифугирования будет включать также промывку данных отходов водой. Образующийся кек используется для составления компостируемых смесей, как и в предыдущей технологической схеме биокomпостирования.

Совершенствование технологии биокomпостирования отходов ЗАО «Витекс» позволит ускорить процесс компостирования, однако при этом необходимо дополнительно решить проблемы, которые будут сопутствовать предлагаемым технологическим решениям, это переработка фильтрата (фугата), т.е. растительного масла или раствора пропиленгликоля, и очистка промывных сточных вод.

Рассмотренные технологические схемы биокomпостирования отходов растительного сырья позволят решить проблему переработки и получить готовый продукт, который в качестве почво- и структуроулучшающей добавки, почвогрунта и удобрения может быть использован в сельском хозяйстве, зеленом строительстве, при рекультивации земель, для выращивания саженцев и комнатных растений.

Преимуществом рассматриваемых технологических решений является еще и то, что в качестве структурообразующей добавки могут использоваться отходы, образующиеся на предприятии: опилки, ветки от обрезки деревьев и пр.

ПЕРЕРАБОТКА ЦИНКСОДЕРЖАЩИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

Основную массу цинковых белил производят из электрического цинка, соответствующего требованиям ГОСТ 3640-94. Учитывая тот факт, что в Республике Беларусь отсутствуют собственные запасы цинковых руд, мы проанализировали альтернативные источники получения оксида цинка – отходы.

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

Для применения отхода в качестве сырья для производства цинковых белил, в его составе должен присутствовать цинк в значительном количестве, что подтверждается характеристиками отходов.

Получение цинковых белил из отходов вискозного производства основано на обработке отходов растворами соляной кислоты с последующей нейтрализацией образовавшегося раствора гидроксидом натрия, добавлением карбонат натрия. Выпавшие в осадок карбонаты цинка отделяют от раствора фильтрованием и прокаливают при температуре с получением оксида цинка.

Получение цинковых белил из цинковых дроссов, образующихся при выплавке катодного цинка, основано на высокотемпературном восстановлении цинка из них с помощью углерода с одновременной возгонкой и окислением образующихся цинковых паров, и улавливанием получаемого оксида цинка.

Существует способ получения оксида цинка, основанный на химическом осаждении термически нестабильных соединений в растворах с дальнейшим их разложением. Из отработанных электролитов цинкования медленным приливанием этилендиамина осаждают моногидрат гидроксохлорида цинка, нагревание которого в последующем приводит к термолизу и образованию оксида цинка.

Еще одним способом получения пигмента является получение сухих цинковых белил путем термообработки отходов горячего цинкования.

Целью данной работы было проведение исследований, направленных на получение оксида цинка из отработанных растворов гальванического цинкования.

В одном из патентов описывалось использование в качестве осадителя этилендиамина, при изучении химии цинка и другой литературы было установлено, что оксид цинка можно получить при осаждении соединений цинка из растворов с последующей температурной обработкой с использованием в качестве осадителей растворов карбоната и гидроксида натрия.

В диссертационной работе Цзан Сяовэя «Разработка методов получения наночастиц оксида цинка различных размеров и форм для эпоксидных композиционных материалов» [1] чистый оксид цинка получали с использованием в качестве осадителя ГМТА (гексаметилентетрамин), он же уротропин.

Важно отметить, что все известные способы получения оксида цинка методом осаждения описывают процесс получения из чистых растворов, содержащих соединения цинка. В нашей работе, оксид цинка получали из отходов – отработанных электролитов цинкования, содержащих кроме соединений цинка примеси железа, остаточное содержание блескообразователей, продуктов их электрохимического разложения и пр.

В работе осаждение оксида цинка проводили различными осадителями (уротропином, гидроксидом натрия, карбонатом натрия, этилендиамином) при условиях, определенных по литературным данным. Полученный в результате осаждения осадок фильтровался, промывался дистиллированной водой (при использовании в качестве осадителя карбоната натрия дополнительно этиловым спиртом), сушился, а при использовании в качестве осадителя этилендиамина и карбоната натрия осадок также прокаливался.

В ходе исследований определяли выход оксида цинка и его свойства (укрывистость и маслосъемкость). На основании полученных результатов делали вывод о том, осаждение каким веществом позволяет получить продукт, характеризующийся лучшими свойствами. Был сделан вывод, что из рассмотренных осадителей лучшим является уротропин.

Следующим этапом исследования являлось определение оптимальных условий осаждения оксида цинка из отработанных электролитов цинкования ОАО «Речицкий метизный завод» уротропином.

Установлено, что оптимальными условиями осаждения оксида цинка из отработанных электролитов цинкования можно считать следующие:

- температура осаждения 87°C;
- pH осаждения 11;
- соотношение ОЭЦ: уротропин 1:2;
- время осаждения 1,5 ч;
- время отстаивания 4 ч.

При данных параметрах выход готового продукта составил 92,5 %.

Кроме этого, осуществлялся анализ полученного фильтрата и промывных сточных вод на содержание в них ионов цинка и железа, хлоридов, формальдегида и pH. Это было необходимо для того, чтобы определить требуемое количество воды для промывки образующегося осадка, возможность повторного использования промывных сточных вод и фильтрата, определение возможной схемы очистки данных стоков.

Заключительным этапом являлось определение свойств оксида цинка, полученного из отработанных электролитов цинкования и определение области его применения.

Результаты рентгенофазового анализа осадка, полученного при осаждении из отработанных электролитов цинкования ОАО «Речицкий метизный завод», свидетельствуют об однофазной кристаллической структуре образца, кристаллической фазой которого является оксид цинка (ZnO). Маслосодержание полученного оксида цинка составила 45,5 г/г, укрывистость равна 120 г/м², оба данные значения соответствуют требуемым значениям ГОСТ 482-77.

На основании результатов исследований полученный оксид цинка можно отнести к марке БЦЗ по ГОСТ 202-76, который применяется для производства масляных и алкидных красок, строительных материалов и неответственных асбестотехнических изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сяовэй Ц. Разработка методов получения наночастиц оксида цинка различных форм и размеров: дис. раб. на соиск. уч. степ. канд. хим. наук. – Москва, 2014. – 154 с.

2. Марцуль В.Н. [и др.] Очистка сточных вод гальванических цехов предприятия Республики Беларусь/ В.Н. Марцуль [и др.] / Сборник научных трудов/ БГТУ, 2013 - №3. Химия и технология неорганических веществ. С. – 61–67.

Студ. С. Е. Моложавцев
Науч. рук. проф. И. А. Левицкий
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ТЫЛЬНОЙ СТОРОНЫ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛИТОК, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ЗАЩИТУ РОЛИКОВ КОНВЕЙЕРНОЙ ПЕЧИ

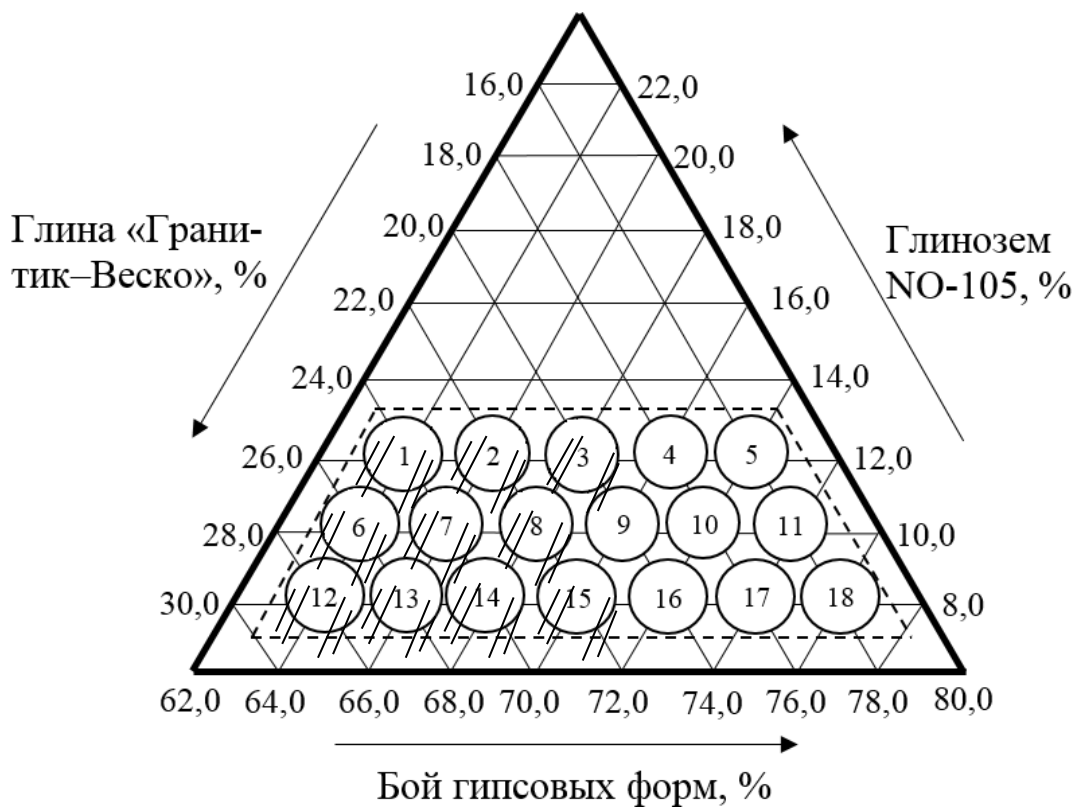
Целью работы является синтез защитных ангобных покрытий, предназначенных для нанесения на тыльную сторону керамических плиток, которые обеспечивают защиту керамических роликов конвейерной печи от налипания частиц массы и глазури в процессе эксплуатации. Загрязнение роликов требует остановки печей, удаления налипшей массы и глазури на специальном приспособлении с последующим разогревом агрегата, значительных затрат на удаление приплавившихся к роликам керамических масс и глазурей методом механического соскабливания, что нередко приводит к повреждению роликов.

В качестве сырьевой смеси для синтеза ангобов применялись отработанные гипсовые формы, глинозем и глина огнеупорная. Сырьевая композиция включала компоненты при следующем интервале содержания, мас. %: бой гипсовых форм 64–76 %; глинозем технический марки НО–105 (Германия), глина огнеупорная марки «Гранитик-Веско» (Украина) 16–28, что иллюстрирует рисунок 1. В исследованиях применялись обработанные в производстве санитарных керамических изделий, изготовленных методом шликерного литья, гипсовые формы. Они характеризовались наличием небольших включений, составляющих применяемого шликера, который содержит глинистые составляющие (каолины и глину огнеупорную), пегматит и кварцевый песок.

Для получения покрытий с требуемыми технологическими характеристиками в состав ангоба вводились карбоксилметилцеллюлоза и триполиосфат натрия по 0,3–0,5 % сверх 100 % составляющих массы. Они повышали реологические характеристики ангоба и его адгезию к керамической основе.

Ангобы характеризовались рабочей плотностью 1240–1300 кг/м³, толщина наносимого слоя составляла 0,1–0,3 мм. Влажность суспензии находилась в пределах 45–50 % и ее помол велся мокрым способом до остатка на сите № 0063 (10000 отв./см²) в количестве не более 1,5 %. Соотношение мелющих тел, воды и измельчаемых компонентов находилась в соотношении 1,5:1:1.

Керамические плитки в зависимости от назначения проходили обжиг в конвейерных печах при температуре 1050–1200 °С.



- – область изученных составов; 1,2,3..18 – номер состава;
- – гладкое, равномерное покрытие без дефектов поверхности;
- ⊗ – недостаточно гладкое покрытие с наличием бугорков

Рисунок 1 – Область синтезированных составов ангобов, мас. %

Продолжительность обжига составляла 42 ± 1 мин, выдержка при максимальной температуре – 23 ± 1 мин. Качество ангобных покрытий после обжига определялось преимущественно содержанием в ангобной суспензии глины огнеупорной «Гранитик-Веско». Гладкое, равномерное покрытие белого цвета обеспечивалось при содержании глины огнеупорной в количестве 16–20 мас. %. Дальнейшее повышение ее количества приводило к недостаточно гладкому покрытию кремово-белого цвета и характеризовалось наличием мелких густо рассеянных бугорков на всей поверхности покрытия.

Ангобы в большинстве своем имели достаточную степень спекания с керамической основой плиток.

Воздушная усадка ангобов характеризовалась значениями 0,8–1,3 % и возрастала с повышением в составе огнеупорной глины. Значения огневой усадки зависели также от ее содержания и находились в пределах 8,6–11,7 %. Общая усадка составляла 9,6–12,9 %. Повышение содержания боя гипсовых форм обуславливало незначительный рост значений усадки.

Водопоглощение ангобов находилось в интервале 5,1–6,5 % и незначительно возрастало с повышением содержания боя гипсовых форм, введенных взамен глины «Гранитик-Веско». Открытая пористость ангобных покрытий составляла 7,3–16,8 %, кажущаяся плотность изменялась в пределах 2340–2490 кг/м³. Указанные показатели позволяют заключить о достаточной степени спекания ангобного слоя.

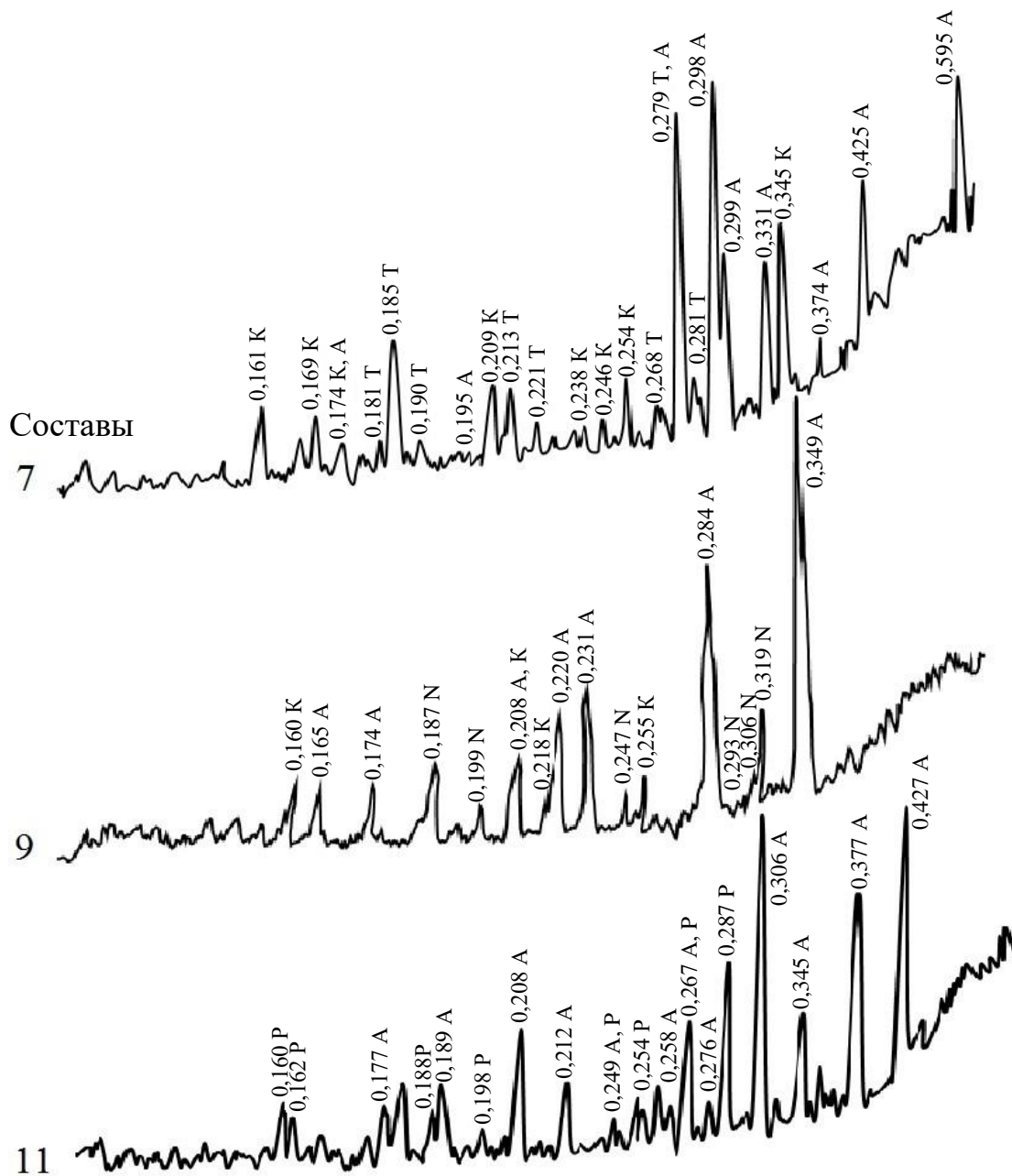
Температурный коэффициент линейного расширения ангобного покрытия находился в интервале $(5,00–7,02) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ и закономерно повышался с ростом содержания боя гипсовых форм, введенных как взамен глинозема, так и глины «Гранитик-Веско». Керамическая основа в зависимости от типа керамических плиток имела значения ТКЛР в пределах $(6,5–7,3) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Огнеупорность синтезированных ангобов составляла более 1350 °С.

Исследования фазовых переходов в синтезированных покрытиях свидетельствует о многочисленных термических изменениях, обусловленных спецификой содержащегося гипса и связаны с возможностью существования ряда модификаций водного и безводного сульфата кальция [1,2].

Рентгенофазовым анализом (рисунок 2), выполненным на установке *D8 ADVANCE Brucker* (Германия) фазового состава синтезированных ангобных покрытий установлено наличие во всех составах ангидрита ($\alpha\text{-CaSO}_4$), корунда ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) и анортита ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). В составах, содержащих бой гипсовых форм в количестве 70–74 мас. % характерна кристаллизация алита ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), а при повышении содержания боя гипсовых форм в интервале 76–78 мас. % – ранкинита ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$).

Электронно-микроскопическим анализом скола ангобов с помощью сканирующего микроскопа *JSM 5610* (Япония) подтверждено формирование кристаллической структуры, представленной четко выраженными объемными образованиями, близкими к классическому ангидриту с преобладанием кристаллов размером 15–20 мкм. Пространство между ними заполнено изометричными зернами размерами 0,1–0,3 мкм.

Проведенные в заводских условиях ОАО «Керамин» исследования показали возможность использования синтезированных ангобных покрытий в условиях промышленного производства. Оптимальная область составов характеризуется содержанием боя гипсовых форм в количестве 70–72 мас. %, что значительно снижает себестоимость применяемых покрытий.



А – α -CaSO₄ (ангидрит); К – α -Al₂O₃ (корунд); Т – 3CaO·2SiO₂ (алит);
 N – CaO·Al₂O₃·2SiO₂ (анортит); P – 3CaO· α SiO₂ (ранкинит)

Рисунок 2 – Дифрактограммы ангобных покрытий

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). Справочник / Под общей ред. А.В. Ферронской – М.: Издательство АСВ, 2004. – С. 34–41.
- 2 Горшков, В.С. Термография строительных материалов / В.С. Горшков. – М.: Из-во литер. по строительству, 1968. – 235 с.

ВЛИЯНИЕ MgO И CaO НА СВОЙСТВА АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ ДЛЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ВОЛОКНА

Новым направлением в клинической стоматологии являются адгезивные технологии, которые для оказания эффективной помощи пациентам предполагают применение разнообразных волоконных систем, например, в виде волоконных лент или штифтов. Неотъемлемой составляющей, которая определяет уровень технико-эксплуатационных характеристик и, что особенно важно, долговечность армирующих конструкций и композиционных материалов, применяемых в клинической стоматологии, является их основа – волокнистые материалы: арамидное волокно, полиэтиленовое и стекловолокно, углеродное волокно, шелк. Изделия на основе таких материалов должны характеризоваться высокой прочностью, физическими и оптическими свойствами, подобными твердым тканям зуба, биосовместимостью, отсутствием сенсibiliзирующего действия на пациента и врача, универсальностью, удобством и легкостью в применении [1]. В наибольшей степени этим требованиям отвечают волоконные системы на основе стекловолокна.

Стекловолоконные армирующие конструкции для клинической стоматологии не выпускаются в Республике Беларусь, а импортируются из-за рубежа, что предопределяет их высокую стоимость. Учитывая расширение потребности в волокнистых системах целесообразно организовать их производство, используя мощности ведущего предприятия в республике по производству волокнистых материалов – ОАО «Полоцк–Стекловолокно».

Целью настоящей работы являлась разработка составов стекол, характеризующихся высокой механической прочностью и химической устойчивостью и технологическими свойствами, обеспечивающими их пригодность для получения волокна для клинической стоматологии.

Согласно данным литературы [2, 3] для получения высокопрочных волокон наибольший интерес представляют магнийалюмосиликатные стекла, например, стекло марки ВМП или S-стекло. Однако, несмотря на высокую механическую прочность, устойчивость к воздействию агрессивных сред, такие стекла требуют высокой температуры варки и формования. В этом связи для улучшения тех-

нологических свойств магнийалюмосиликатных стекол в их составы вводят модифицирующие добавки Li_2O , B_2O_3 , CaO , TiO_2 , ZrO_2 .

В данной работе при разработке рациональных составов стекол для получения высокопрочного стекловолокна устанавливалось оптимальное соотношение между содержанием компонентов MgO и CaO в составе стекла. Содержание компонентов варьировалось в составах стекол в следующих пределах, мас. %: SiO_2 55–65; MgO – 10–20; CaO – 0–10 и Al_2O_3 – 25–35.

Синтез стекол осуществлялся в фарфоровых тиглях в газовой пламенной печи при температуре 1520 ± 10 °С. В результате изучения полученных образцов выявлено, что наибольшей тугоплавкостью отличаются стекла, содержащие 30–35% Al_2O_3 , в них в значительном количестве присутствуют газовые включения и непровар. Наиболее эффективным для улучшения однородности стекла является введение в их составы CaO взамен MgO , Al_2O_3 и SiO_2 .

При выработке стекловолокна наряду с качеством стекла необходимо учитывать его кристаллизационную способность, а именно, значение температуры верхнего предела кристаллизации ($T_{\text{ВПК}}$). Если температура выработки волокна ниже верхнего предела кристаллизации, в стеклоплавильном сосуде образуются кристаллы, которые в дальнейшем вызывают обрывность волокна и нарушение процесса выработки. На основе известного значения $T_{\text{ВПК}}$, подбирается благоприятный температурный режим выработки стекловолокна.

Для определения кристаллизационной способности синтезируемых стекол проведена их градиентная термообработка в интервале температур 600–1100 °С при выдержке 1 ч. В данном интервале температур стекла сравнительно устойчивы к кристаллизации. Введение CaO взамен MgO обеспечивает снижение кристаллизационной способности стекол. Это особенно заметно при добавке в состав стекла 10 мас. % CaO , что приводит к подавлению возникновения и роста кристаллов до температуры 1100 °С. При повышении содержания в составах стекол MgO до 15 мас. % в интервале температур 900–1100 °С наблюдается поверхностная кристаллизация стекол.

Проведена сравнительная оценка поведения синтезированного стекла, содержащего 5 мас. % CaO , и стекла состава ВМП при более высоких температурах. Термообработку образцов проводили в муфельной электрической печи в интервале 1160–1280 °С с шагом 40 °С. Выявлено, что термообработанные стекла характеризуются наличием кристаллической корки. Это позволяет предположить, что $T_{\text{ВПК}}$ экспериментального стекла и стекла ВМП выше 1280 °С. Таким образом

температура формования волокна на их основе должна быть не ниже 1280 °С.

Проведены исследования химической устойчивости образцов стекол зерновым методом при их кипячении в течение 3 ч в 2н NaOH или 2н HCl. Стекла характеризовались высокой устойчивостью к воздействию реагентов, особенно к воздействию кислоты. Потери массы экспериментальных стекол в 2 н NaOH составили 1,27–3,67 %, 2н HCl – 0,65–2,45 %. Замена MgO на CaO в составах стекол приводила к росту их щелочестойкости, однако при этом снижалась кислотостойкость образцов. Изучено влияние замены MgO на CaO в стеклах на их механические свойства. При определении микротвердости стекол по методу Виккерса выявлено, что ее значения высоки и варьируются в интервале 5995–6182 МПа. Существенного изменения микротвердости стекол при замещении в их составе MgO на CaO не наблюдалось. Согласно результатам исследования прочности стекол, методом трехточечного изгиба с помощью универсальной электромеханической испытательной машине Galdabini Quasar 100 (Италия), выявлено, что значимое влияние замены MgO на CaO в указанных пределах концентраций на прочность стекол также отсутствовало. Значения механической прочности стекол варьируются в диапазоне от 57 до 69,2 МПа, что в 2–3 раза ниже, чем значения характерные для известных высокопрочных стекол. Это связано с наличием дефектов на поверхности образцов, которые образуются при вырезке образцов стекла для определения прочности.

Результаты проведенных исследований свойств магнийалюмосиликатных стекол, модифицированных CaO, показывают что, при введении в состав стекол до 5 мас.% взамен MgO достигается улучшение однородности стекол, увеличение устойчивости к кристаллизации без значимого ухудшения механических характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

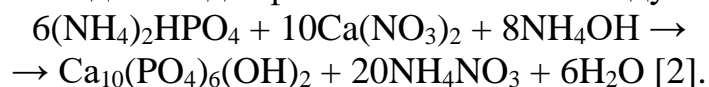
1. Казеко, Л.А. Волоконные системы в терапевтической стоматологии: учеб.-метод. пособие / Л.А. Казеко, О.А. Борисеева, М.С. Барановская. – Минск: БГМУ, 2010. – 24 с.
2. Frederick, T. Wallenberger. Fiberglass and glass technology: energy-friendly compositions and applications / Frederick T. Wallenberger, Paul A. Bingham. – New York: Springer Science business media, 2010. – 453 p.
3. Гутников, С.И. Типы и составы стекол для производства непрерывного стеклянного волокна / С.И. Гутников, Б.И. Лазорьяк, А.Н. Селезнев. – М.: Химия, 2010. – 52 с.

Студ. А.Д. Подсосонная
Науч. рук. ассист., канд. техн. наук А.Н. Шиманская
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

ОСОБЕННОСТИ СПЕКАНИЯ КАЛЬЦИЙФОСФАТНОЙ КЕРАМИКИ, ПОЛУЧЕННОЙ СПОСОБОМ ГЕЛЕВОГО ЛИТЬЯ

В последнее время большой интерес вызывает использование керамики на основе фосфатов кальция для изготовления имплантатов. Особое место среди подобных материалов занимает гидроксипатит (ГАП) – кристаллохимический аналог неорганической составляющей костной и зубной тканей. Синтетический ГАП легко приживается в живом организме, не вызывая реакции иммунного отторжения, и в мелкодисперсном состоянии частично или полностью резорбируется, активируя процессы репаративного остеогенеза [1]. Вследствие этого, целью данного исследования являлось установление взаимосвязи структурных особенностей кальций-фосфатной керамики, ее физико-химических свойств и технологических параметров получения.

На первом этапе исследования осуществлялось получение гидроксипатита методом жидкофазного синтеза по следующей реакции:



В качестве исходных компонентов для синтеза ГАП применялись нитрат кальция 4-х водный, х.ч. (ГОСТ 4142); аммоний фосфорнокислый 2-замещенный, марки А (ГОСТ 8515), гидроксид аммония, 25 % водный раствор, ос.ч. (ГОСТ 24147). Связующими веществами для получения суспензий для литья изделий из полученного гидроксипатита служили желатин (ГОСТ 11293) и агар-агар (ГОСТ 16280).

На втором этапе формовались образцы биокерамики способом гелевого литья, обжиг изделий проводился при температурах 1150 и 1200 °С в электрической лабораторной печи SNOL 1,6,2,5.1/13,5-Y1 (Литва).

Полученные образцы биокерамики характеризовались равномерной окраской белого цвета, пористой, хорошо спеченной текстурой. Физико-химические свойства изделий определялись в соответствии с ГОСТ 4071.1 и ГОСТ 2409. Полученные значения технологических и физико-химических свойств приведены в таблице.

Значительная усадка образцов, синтезированных из желатинсодержащих суспензий с низким содержанием ГАП (соотношение ГАП : желатин – 1 : 1; 1,5 : 1) объясняется процессом синерезиса [3].

Таблица – Физико-химические и технологические свойства

Показатель	ГАП : желатин – (1,0–3,0) : 1		ГАП : агар-агар – 17,1 : 1	
	1150 °С	1200 °С	1150 °С	1200 °С
Водопоглощение, %	40,8–48,8	40,5–45,2	65,3	54,7
Кажущаяся плотность, кг/м ³	1199–1397	1190–1491	974	1066
Открытая пористость, %	54,3–58,8	51,5–53,9	63,0	58,3
Механическая прочность при сжатии, МПа	0,8–4,9	2,0–5,3	2,0	3,0
Общая усадка, %	32,0–55,6	32,8–54,4	29,2	31,0

С помощью дифференциальной сканирующей калориметрии (DSC 404 F3 Pegasus Netzsch) изучены процессы, происходящие при термообработке высушенных образцов (рисунок 1).

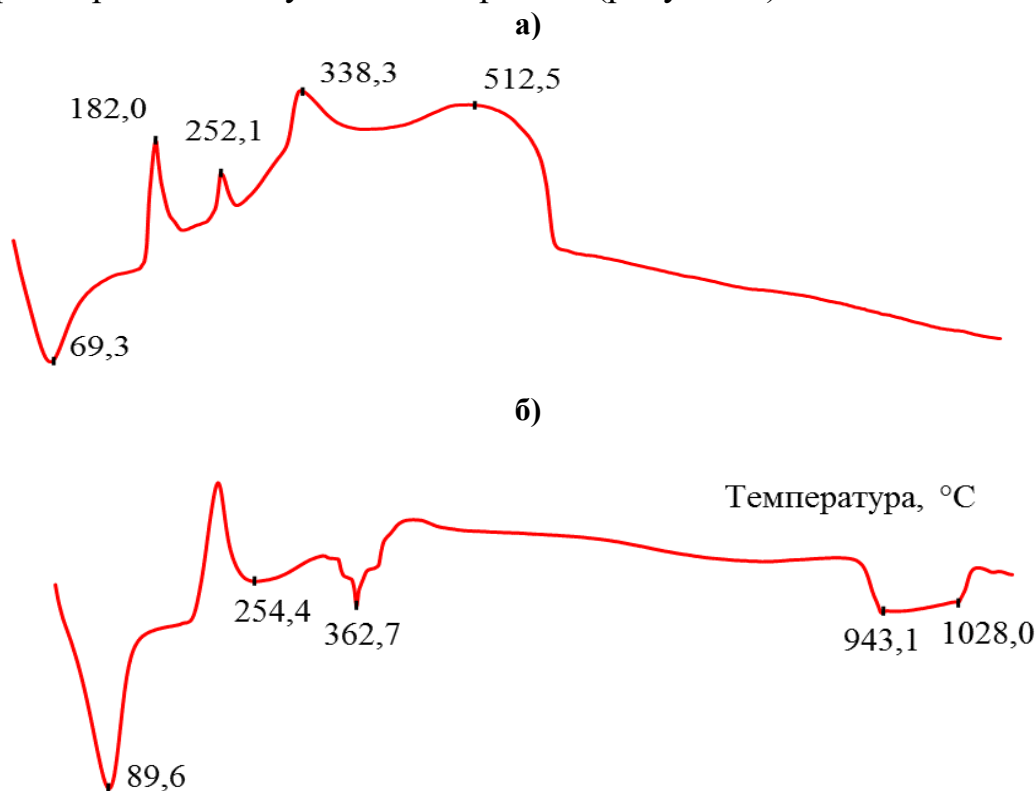


Рисунок 1 – Кривая ДСК образцов, полученных из суспензий с соотношением: а) ГАП : желатин – 3 : 1; б) ГАП : агар-агар – 17,1 : 1

Установлено наличие следующих эндотермических эффектов:

- 100–160 °С – удаление физически связанной воды;
- 200–400 °С – термодеструкция желатина (рисунок 1а) [4];

– 900–1100 °С – преобразование гексагональной сингонии ГАП в моноклинную форму и/или стехиометричного ГАП; преобразование гидроксиапатита в β -модификацию трикальцийфосфата [5].

Как видно из рисунка 1б, при использовании в качестве связующей добавки агар-агара осуществляются следующие экзотермические процессы [6]:

– 30–40 °С – β -переход, связанный с либрацией пиранозных колец вокруг глюкозидной связи;

– 182,0 °С – расстекловывание агар-агара;

– 252,1– 512,5 °С – термодеструкция агар-агара.

Фазовые составы синтезированных образцов керамики представлен гидроксиапатитом $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ (карточка PDF № 9–432) и трикальциевым фосфатом $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (карточка PDF № 9–169). Причем количество $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ закономерно увеличивается с повышением температуры обжига.

С помощью электронной микроскопии (JSM-5610 LV с системой EDX JED-2201 JEOL) установлено, что материал, полученный при соотношении ГАП : желатин – 3 : 1 и обожженный при температуре 1200 °С, характеризуется присутствием значительного количества пор различной конфигурации, размер которых составляет от 2 до 13 мкм (рисунок 2а). При применении агар-агара получен более пористый материал, размер пор, в котором варьируется от 3 до 150 мкм (рисунок 2б). Кристаллическая фаза представлена зернами произвольной формы, средний размер которых равен 2–5 мкм.

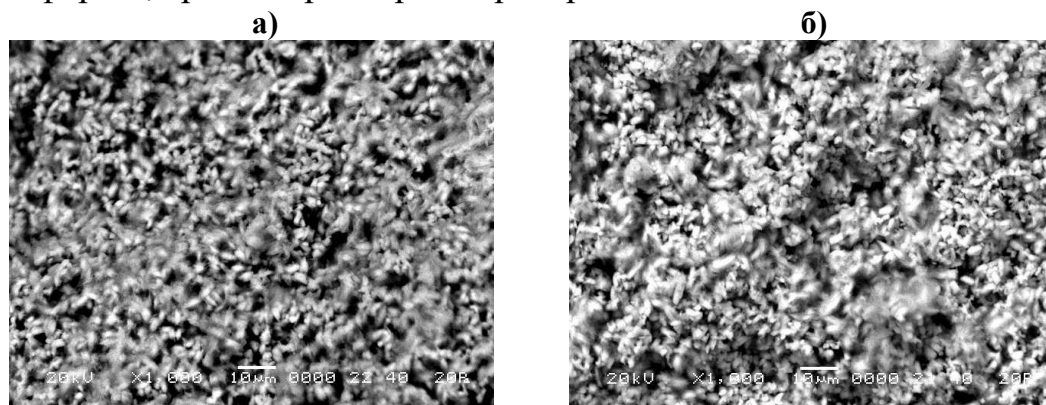


Рисунок 2 – Электронно-микроскопические снимки образцов, синтезированных при 1200 °С из суспензий с соотношением:
а) ГАП : желатин – 3 : 1; б) ГАП : агар-агар – 17,1 : 1 ($\times 2000$)

Сравнительный анализ физико-химических и технологических свойств показал, что оптимальной связующей добавкой для гелевого литья гидроксиапатитовой керамики является агар-агар. По прочностным характеристикам синтезированный керамический материал мо-

жет использоваться для замены губчатого вещества кости. Согласно данным [7], прочность при сжатии губчатого вещества из проксимальной области большеберцовой кости составляет всего лишь около 3,5 МПа, прочность этого вещества из головки тазобедренного сустава равна 1–15 МПа, а прочность кортикальной кости верхней суставной поверхности большеберцовой кости – 3–23 МПа.

Также следует отметить, что поры размером менее 10 мкм замедляют прорастание клеток, поры с размером 15–50 мкм способствуют образованию сосудисто-волокнистой ткани, поры размером 50–150 мкм определяют развитие остеоидной ткани, а поры свыше 150 мкм благоприятствуют образованию внутренних минерализованных тканей [8]. Следовательно, высокая пористость полученных образцов керамики может поддерживать образование костной ткани в объеме керамического матрикса и способствовать прикреплению клеток и их миграции, что, возможно, обеспечит распространение жизненно важных питательных веществ в клетки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Suchanek, W. Processing and properties of hydroxyapatite-based biomaterials for use as hard tissue replacement implants / W. Suchanek, M. Yoshimura // *J. Mater. Res.* – 1998. – Vol. 13, iss. 1. – P. 94–117.
2. Синтез гидроксиапатита для биоактивных материалов / Н. Е. Торопков [и др.] // Новые технологии создания и применения биокерамики в восстановительной медицине: материалы IV Международной научно-практической конференции, 13–15 октября 2016 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – С. 130–134.
3. Колпаков, К. М. Химия поверхностных явлений / К. М. Колпаков. – Пенза: Издательство ПГУ, 2017. – 320 с.
4. Биомиметрические композиты на основе карбонатапатита, альбумина и желатина биомедицинского назначения / С. А. Герк [и др.] // *Бутлеровские сообщения.* – 2017. – Т. 50, № 6. – С. 66–67.
5. Characterization and annealing performance of calcium phosphate nanoparticles synthesized co-precipitation method / M. A. Ahmed [et al.] // *Ceramics International.* – 2014. – Vol. 40, iss. 8. – P.12807–12820.
6. Теплоемкость и физико-химический анализ агара и агарозы / А. Е. Грудева [и др.] // *Вестник ННГУ. Сер. Химия.* – 2000. – Вып. 1 (2). – С. 139–145.
7. Aoki, H. Science and medical applications of hydroxyapatite. – Tokyo: JAAS, 1991. – 245 с.
8. Wang, M. Hydroxyapatite-polyethylene composites for bone substitution: effects of ceramic particle size and morphology / M. Wang, R. Joseph, W. Bonfield // *Biomaterials.* – 1998. – Vol. 19. – P. 2357–2366.

Студ. А.В. Гаргун; студ. И.Н. Казакова
Науч. рук. доц. канд. техн. наук И.М. Терещенко
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

ПОЛУЧЕНИЕ ОСАЖДЕННОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ НА ОСНОВЕ СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

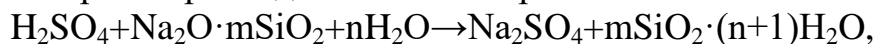
Дисперсный диоксид кремния – один из важнейших компонентов, обеспечивающих получение легких, прочных, качественных цветных резин для изготовления шин, подошв в обуви, прорезиненных тканей, изделий санитарии, гигиены и др. В то же время он является практически единственным усиливающим наполнителем в производстве силиконовых эластомеров.

Кроме того, синтетический диоксид кремния находит применение в производстве зубных паст, в качестве добавки и вспомогательного вещества в пищевой и фармацевтической промышленности, в компьютерной и медицинской технике, катализаторов и адсорбентов.

Белая сажа представляет собой диоксид кремния, который получается осаждением из раствора силиката натрия (жидкого стекла) кислотой (соляной в РФ и серной за рубежом), с последующей фильтрацией, промывкой и сушкой.

В работе изучена возможность получения осажденного высокодисперсного диоксида кремния на основе промышленных силикатов натрия, а также получаемых на кафедре ТСиК на основе кремнегеля – отхода производства фтористого алюминия. В настоящее время использование такого сырья является самым оптимальным для условий Беларуси, т.к. это позволяет решить проблему сырьевых материалов, поскольку соответствующие производства имеются в Республике Беларусь.

Для получения нанодисперсного кремнезема, был принят за основу способ производства, предусматривающий осаждение дисперсного SiO_2 из раствора жидкого стекла серной кислотой:



с последующей фильтрацией и промывкой осаждённого диоксида кремния, диспергированием, сушкой, измельчением сухого продукта.

Установлено, что на стадии осаждения свойства конечного продукта (удельная поверхность адсорбции, размеры частиц SiO_2 , уплотняемость, рН, влажность, маслосмекость и др.) варьируются за счет изменения состава и концентрации реагентов, температуры и скорости перемешивания, продолжительности синтеза и др. Условия фильтра-

ции, сушки (в особенности) и измельчения продукта также существенно влияют на его качество.

Сравнение по химическому составу и удельной поверхности белой сажи, синтезированной из промышленных растворов силикатов натрия (1) и белой сажи на основе жидкого стекла, производимого из исходного (2) и очищенного (3) кремнегеля, низкотемпературным синтезом приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав и удельная поверхность белой сажи

№ пр	Содержание компонентов, мас. %							Уд пов. м ² /г
	SO ₃ ⁻	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	F ⁻	Fe ₂ O ₃	Иное	
V1	1,12	0,80	0,98	96,83	–	0,09	0,18	220
V2	1,29	1,08	1,6	93,00	2,88	–	0,15	215
V3	1,055	0,9695	0,1	96,92	0,48	–	0,4755	270

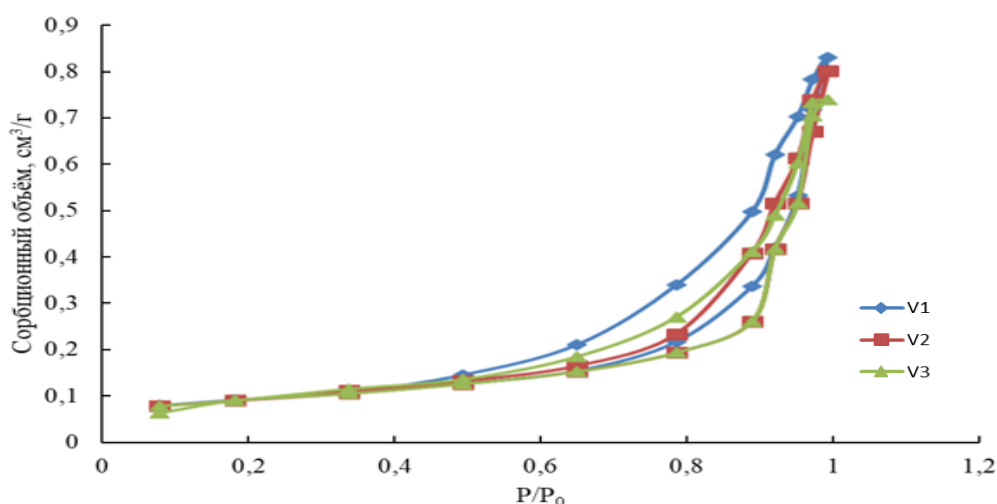


Рисунок 1 – Адсорбционные кривые синтезированной белой сажи

Анализируя полученные данные установлено, что белая сажа, синтезированная на основе промышленного жидкого стекла и жидкого стекла из кремнегеля соответствует осажденному диоксиду кремния типа HDS.

Химический состав белой сажи, а именно наличие примесных компонентов, в первую очередь определяется химическим составом жидкого стекла, из которого происходит осаждение.

Все образцы характеризуются высокими значениями сорбционного объема от 0,69 до 0,82 см³/г, что в свою очередь свидетельствует о том, что в частицах данных образцов большое количество мезо- и микропор. В связи с этим они обладают высокой адсорбционной способностью, что в свою очередь улучшает их взаимодействие с полимерной матрицей в гидрофобных каучуках.

Изотермы образцов характеризуется крутым подъемом кривой при малых относительных давлениях. Это свидетельствует об однородности пор данных образцов белой сажи по размерам и о том, что они очень тонки и заполняются в первом акте адсорбционного процесса.

Полученные изотермы характеризуются наличием гистерезисных петель между адсорбционной и десорбционной ветвями. Это связано, очевидно, с явлением капиллярной конденсации азота в мезопорах БС при высоких относительных давлениях. Изотерма образцов при больших относительных давлениях адсорбата резко поднимается вверх, и наблюдаемая гистерезисная петля выражена довольно слабо, что свидетельствует об однородности пористой структуры сорбента.

Измельчение в течение 5 минут в планетарной мельнице, обеспечивает наибольшее количество частиц фракции 20–50 мкм, такой диапазон частиц связан с их последующей обработкой, так как при введении белой сажи в качестве наполнителя в резинотехнические смеси происходит их дополнительное измельчение при перемешивании смеси. Так, слишком мелкие частицы склонны к всплыванию и не осаждаются в композициях силиконового каучука, что приводит к увеличению продолжительности включения. При очень больших размерах частиц – затрудняется диспергирование в композициях.

Получаемый в лабораторных условиях продукт характеризуется следующими свойствами:

- внешний вид – белый порошок;
- влажность – 3–4 %;
- удельная поверхность (БЭТ) – 240–270 м²/г;
- сорбционный объем – 0,78–0,82 см³/г;
- потери при прокаливании – 6,5 %;
- рН вытяжки – 6,3;
- массовая доля SiO₂ 98,3 %;
- содержание железа – 0,04 %;
- остаток на сите более 75 мкм – до 14 %, фракция менее 0,20 мкм – до 12,5 %.

Рассчитанные экономические данные показывают, что при объеме производства 4322,2 т/год полная себестоимость единицы продукции – 1614,09 руб/т, что в два раза ниже существующих аналогов.

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС И ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Анализ литературных данных свидетельствует о том, что учеными ведутся активные исследовательские работы в области создания ячеистых теплоизоляционных керамических материалов. Интерес к таким изделиям очевиден и объясняется стремлением создания эффективных конструктивных изделий, позволяющих в значительной степени снизить энергозатраты, увеличить тепло- и шумоизоляцию агрегатов. Теплоизоляционные керамические изделия с высокой пористостью (до 80 %) традиционно получают по шликерной технологии с применением различных пенообразователей и использованием глинистых компонентов, а также отошающих (наполнителей) материалов. В качестве пенообразователя могут применяться поверхностно-активные продукты нефтепереработки и нефтехимического синтеза, природные органические вещества, а также отходы технических пен. В качестве крепителей используются вяжущие вещества, такие как цемент, известь, гипс и т.д. Возможно применение полиминерального глинистого сырья различной степени качества, от легкоплавких до огнеупорных глин, включая каолины и бентониты. В настоящей работе для создания ячеистой структуры применяется пенообразователь с истекшим сроком «Барьер-пленкообразующий», который используется для пожаротушающих средств, представляющий собой водный раствор различных поверхностно-активных веществ, которые позволяют получить устойчивую воздушно-механическую пену.

Для получения теплоизоляционных материалов применялись следующие сырьевые компоненты: тугоплавкая глина месторождения «Городное» (Республика Беларусь), синтезированный алюмосиликатный шамот, а также различные крепители на основе вяжущих веществ и клеев.

Пористая структура создавалась путем смешивания шликера с образованной путем взбивания пеной. В качестве пенообразователя выступал пенообразователь с истекшим сроком годности «Барьер-пленкообразующий».

Изделия получались по шликерной технологии следующим образом. Готовилась сухая масса из керамического сырья: глина «Городное» в количестве 30–50%, шамот алюмосиликатный 50–70%. Затем все компоненты смешивались на сухую, затем добавлялась вода в

необходимом количестве. Затем готовился вязущий раствор, куда входили цемент и известь в количестве 10% сверх 100% каждого компонента, и затворялся водой. Далее керамическая и вязущая суспензии смешивались. Следующим этапом готовилась пена. Пенообразователь взбивался в лабораторной мешалке до получения устойчивой пены, а затем керамическая суспензия и пена тщательно перемешивались до создания однородной структуры.

Приготовленный шликер оптимального состава до смешивания с пеной имел следующие показатели: влажность – 58,4%, текучесть через 30 с – 8 с, рН – 8,5.

Формование полуфабриката осуществлялось путем литья, приготовленного шликера в картонные формы, размером (5×5×5) см. Сушка изделий велась естественным образом, при повышенной влажности для создания наиболее мягкого режима, до остаточной влажности 10–14%. Затем осуществлялся обжиг полуфабриката в интервале температур 1150 – 1200 °С, и выдержкой при максимальной температуре 2 ч.

Полученные образцы характеризовались следующими физико-техническими свойствами: водопоглощение 54,26 – 151,12%, кажущаяся плотность 516 – 1264 кг/м³, открытая пористость 46,32 – 78,36%, механической прочностью при сжатии 1,2 – 2,1 МПа. Установлено, что с повышением температуры водопоглощение и открытая пористость закономерно снижаются. В свою очередь кажущаяся плотность растет. Это свидетельствует об интенсификации процессов спекания за счет увеличения количества эвтектического расплава, в котором растворяются зерна твердых частиц. При этом происходит их сближение и перемещение жидкости в промежутки между зернами, вследствие чего поры (пустоты) заполняются жидкой фазой, что и приводит к уменьшению водопоглощения, открытой пористости и увеличению кажущейся плотности и механической прочности.

Также в ходе работы были синтезированы теплоизоляционные материалы на основе гипсового вязущего, с применением пенообразователя «Барьер-пленкообразующий». Изготовление образцов велось по указанной выше технологии с применением в качестве сырья строительного гипса марки Г-5. Целью исследования являлось определение необходимого соотношения суспензии и пенообразователя для создания пористой структуры с достаточной прочностью. Полученные изделия характеризовались следующими показателями: водопоглощение 130,80 – 229,48%, кажущаяся плотность 358 – 513 кг/м³, открытая пористость 67,13 – 82,16%, механической прочностью при сжатии 1,48 – 2,83 МПа. Определено, что с повышением количества пенообразователя повышается открытая пористость и кажущаяся плотность,

однако значительно падает прочность изделия. Также, ввиду особенности гипсового материала, исключается возможность применения теплоизоляционных изделий на его основе в условиях высоких температур (выше 70 °С)

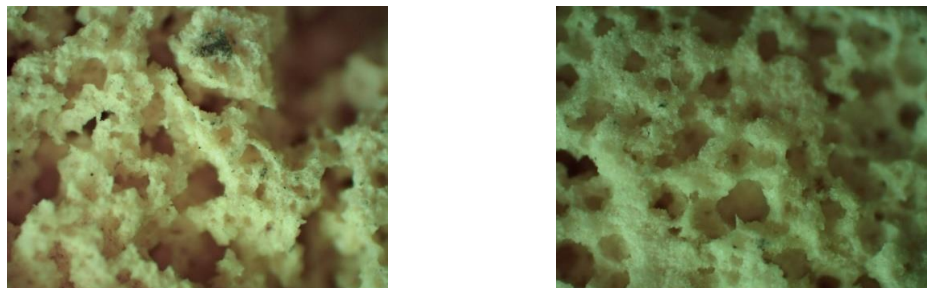


Рисунок 1 - Снимок поверхности с оптического микроскопа образца из керамики, обожжённого при температуре 1150 °С (слева) и образца на основе гипсового вяжущего (справа) при увеличении ×40

Рентгенофазовый анализ, проведенный с помощью рентгеновского дифрактометра *D8 Advance* фирмы *Bruker* (Германия), позволил установить, что фазовый состав синтезированных материалов представлен преимущественно муллитом ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) и кварцем ($\alpha\text{-SiO}_2$), также присутствуют включения алита ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) и анортита ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$).

Таким образом проведенные исследования показали целесообразность использования пенообразователя с истекшим сроком годности «Барьер-пленкообразующий» в качестве структурообразующего компонента ячеистых теплоизоляционных материалов, а также возможность его применения для получения безобжиговых теплоизоляционных материалов на основе вяжущих веществ

ЛИТЕРАТУРА

1. Горлов Ю. П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. М.: Высшая школа. – 1989. – 384 с.
2. О возможности повышения кондиционности каолинового сырья Республики Беларусь различными методами обогащения / Г. Н. Малиновский [и др.] // Строительная наука и техника. – 2011. – № 4. – С. 7–13.
3. Алумосиликатные огнеупорные материалы на основе каолинов Республики Беларусь / Е.М. Дятлова [и др.] // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2012. – Том 17. – № 3. – С. 27–31.
4. Особенности химико-минералогического состава и свойства каолинов белорусских месторождений / О. А. Сергиевич [и др.] // Стекло и керамика. 2012. № 3. С. 25–31.

Студ. А.В. Довгучиц
 Науч. рук. доц. канд. техн. наук Е.Е. Трусова
 (кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

ТЕРМОСТОЙКИЕ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Стеклокристаллические материалы относятся к наиболее актуальным и перспективным материалам современной техники, обладающим сочетанием ценных и специфических, часто уникальных свойств. Они обладают высокой прочностью, твердостью, химической и термической стойкостью. Особый интерес в научном и практическом плане представляют собой стеклокристаллические материалы с низким коэффициентом термического расширения (ТКЛР), которые могут быть использованы в качестве варочных панелей. Целью данной работы является разработка составов и технологии получения термостойких стеклокристаллических материалов.

На основе анализа источников литературы для синтеза стекол для получения термостойких стеклокристаллических материалов выбираем систему $\text{Li}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{ZrO}_2-\text{TiO}_2$ (рисунок 1).

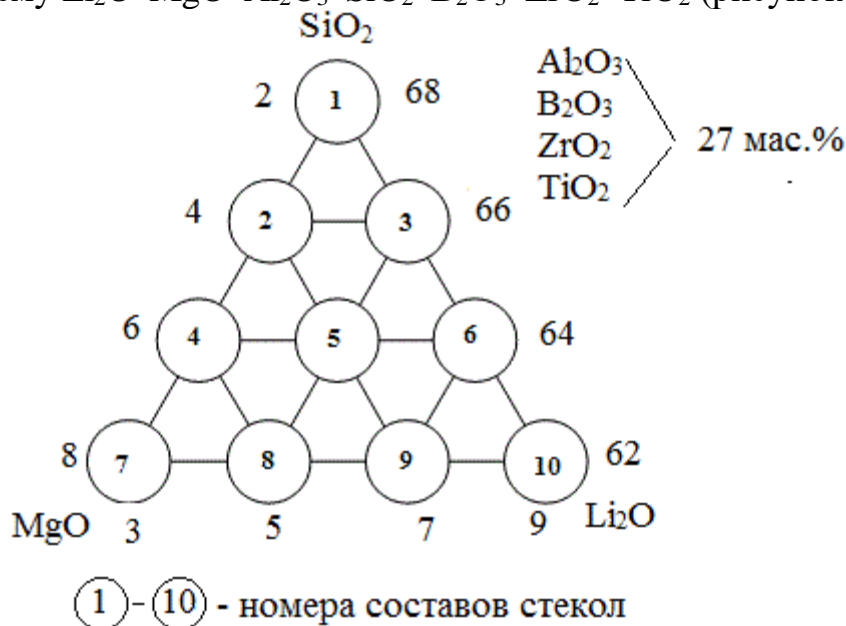


Рисунок 1 – Область составов синтезируемых стекол, мас. %

Выбор системы обусловлен тем, что на основе литиевоалюмосиликатных стекол (система $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$) возможно получение стеклокристаллических материалов с низким температурным коэффициентом линейного расширения. Ионы Mg^{2+} могут частично замещать Li^+ в структуре метастабильных твердых растворов β -кварца и позво-

лят снизить температуру варки и термообработки. Оксид бора B_2O_3 снизит температуры варки и термообработки. Оксиды TiO_2 и ZrO_2 соответственно выбраны в качестве катализаторов кристаллизации. Механизм действия оксида титана заключается в проявлении явления ликвации в стеклах, а также формировании алюминатных фаз, способствующих зарождению и росту основной кристаллической фазы. Оксид циркония наряду со стимулирующим действием обеспечивает мелкокристаллическую структуру.

Исходные стекла синтезированы при температуре 1550 ± 10 °С в газопламенной печи с выдержкой при максимальной температуре 1 ч. Температура отжига стекол составила 650 °С. Следует отметить, что для исследуемых стекол характерна кристаллизация в интервале температур 850–1000 °С. Температура начала размягчения стекол составляет 640–670 °С; ТКЛР синтезируемых стекол изменяется $(39,4–93,8) \cdot 10^{-7} K^{-1}$; плотность изменяется от 2403 до 2453 кг/м³; по химической устойчивости стекла относятся к III гидролитическому классу, микротвердость стекол изменяется от 1077,1 до 1089,7 МПа.

Как правило, получение стеклокристаллических материалов проводят с применением двухступенчатого, в некоторых случаях даже многоступенчатого, режимов тепловой обработки, что связано с необходимостью образования на 1-ой ступени центров кристаллизации, а на 2-ой – формирования и роста кристаллов. Для разработки оптимального режима кристаллизации использованы данные ДСК стекла, которые позволили выбрать интервал температур от 670 до 900 °С для проведения термообработок. Был принят следующий двухступенчатый режим тепловой обработки:

- 1) нагрев исходного стекла со скоростью 300 °С/ч до температуры 670 °С и выдержка 4 ч при данной температуре;
- 2) нагрев до температуры 900 °С с выдержкой 6 ч и затем инерционное охлаждение в печи.

Рентгенофазовый анализ продуктов кристаллизации термообработанных стекол составов № 3 и № 8, отличающихся высокой склонностью к кристаллизации приведены на рисунке 1.

Согласно полученным данным в результате рентгенофазового анализа выявлено, что при выбранном режиме термообработки стекла состава № 3 (рисунок 2, а) происходит формирование литийалюмосиликатных кристаллических фаз β -сподумена ($Li_2Al_2Si_4O_6$) и β -эвкриптита ($Li_2Al_2Si_2O_6$). В то время как фазовый состав закристаллизованного стекла № 8 представлен магниевым $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$ и литиевым алюмосиликатами $Li_{0,6}Al_{0,6}Si_{2,4}O_6$ (рисунок 2, б), что обусловлено

высоким содержанием MgO 6 мас. %. ТКЛР разработанных стеклокристаллических материалов изменяется $(15-45)10^{-7} \text{ K}^{-1}$.

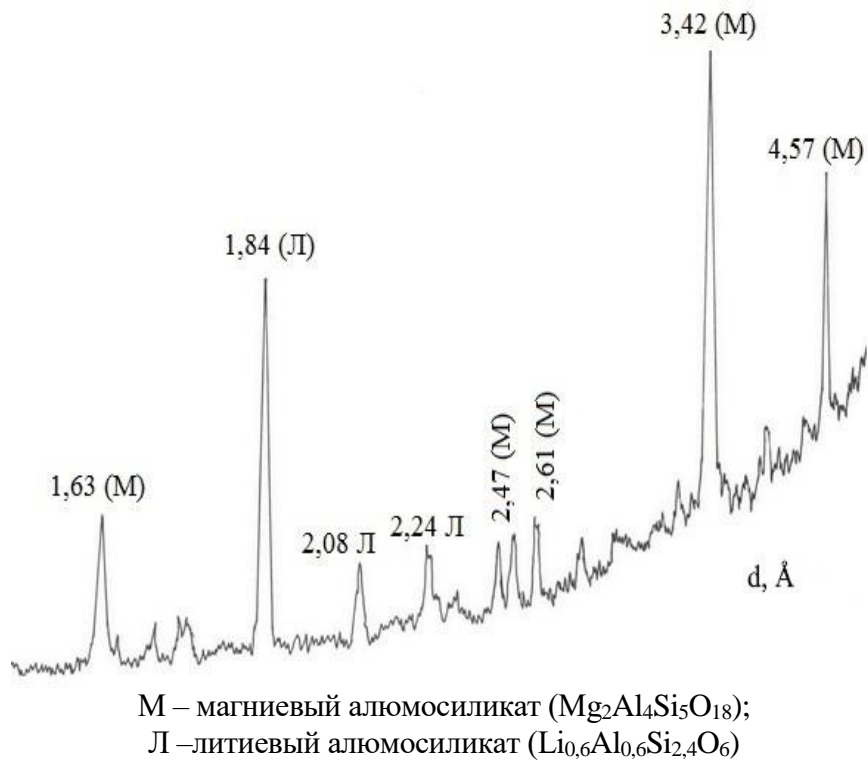
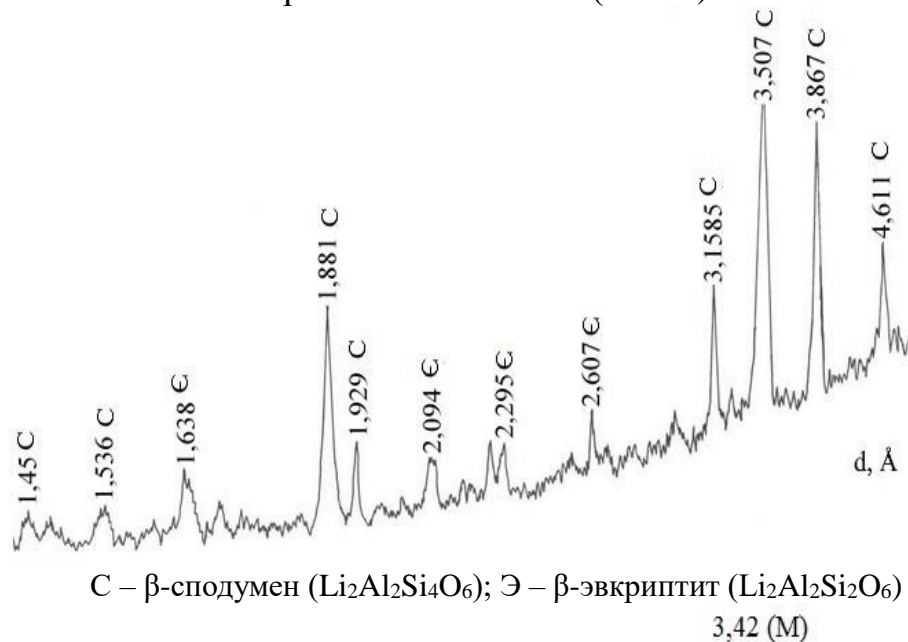


Рисунок 1 – Рентгенограммы термообработанного стекла №3 (а) № 8 (б)

В качестве оптимального состава выбрано стекло состава № 3, обеспечивающий получение стеклокристаллического материала с температурным коэффициентом линейного расширения $15 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ и как следствие высокой термостойкостью. Полученные стеклокристаллические материалы могут быть использованы в качестве варочных панелей.

РАЗРАБОТКА СОСТАВА СЕРНОГО БЕТОНА И КОРРОЗИОННОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СЕРЫ

В настоящее время к серному бетону имеется повышенный интерес, который связан с неоспоримыми преимуществами этого материала, по сравнению с обычным бетоном. Это высокая ранняя прочность, уже в первые сутки твердения, низкое водопоглощение, высокая морозостойкость, стойкость в коррозионных средах и другие. Серный бетон можно использовать для строительства хранилищ отходов, плит и блоков для устройства емкостей, коллекторов сточных вод, свай, труб, канализационных лотков, сборных конструкций, бетонирования полов и площадок, подверженных воздействию кислот и солей, а также в дорожном строительстве [1].

Целью работы являлась разработка состава серного бетона и серосодержащего покрытия.

В качестве наполнителей серного бетона использовали кварцевый песок и доломит. Помол наполнителей осуществлялся на вибромельнице в течение 1–5 мин, просев – на стандартных ситах с выделением фракций, мм: менее 0,16; 0,16–0,315; 0,315–0,63. Содержанием компонентов серного бетона варьировали в диапазоне, мас. %: сера – 40–70, песок – 10–50; доломит – 10–50.

На первом этапе осуществляли приготовление шихты из серы и наполнителей, и последующем нагревании ее при непрерывном перемешивании до температуры 140–150°C для получения однородной легкоподвижной массы за счет плавления серы. Затем полученной бетонной смесью заполняли формы, находящиеся на вибростоле, и в результате вибрации происходило ее уплотнение. После окончания формовки бетонная серосодержащая смесь схватывалась в течение пяти минут за счет кристаллизации расплавленной серы, что обеспечивало быстрый набор прочности.

Следующий этап исследования заключался в подборе состава и изучении свойств образцов серного бетона с использованием в качестве наполнителей песка и доломитового щебня ОАО «Доломит» (месторождение «Руба», Витебская обл.). Прочность на сжатие образцов серного бетона на наполнителях фракций 0,63–1 мм находилась в диапазоне 6,4–14,7 (1 сут), однако образцы отличались плохой удобоукладываемостью. Образцы серного бетона, полученные на более мелкой фракции напол-

нителей (0,315–0,63 мм) показали прочность на сжатие в возрасте 1 сут от 13,4 до 16,2 МПа и отличались заметно лучшей удобоукладываемостью смеси, по сравнению с предыдущей серией. Прочность образцов серного бетона на наполнителях с размерами фракций 0,16–0,315 мм находилась в диапазоне 18,5–38,6 МПа (1 сут). Вследствие лучшей удобоукладываемости прочность образцов на наполнителе с дисперсным составом менее 0,16 мм на всех образцах значительно повысилась. Как видно из таблицы, наибольшими показателями по прочности обладали образцы серного бетона составов № 13 и 14 с соотношением сера : песок : доломит – 40:40:20 и 40:20:40. Прочность на сжатие составила 50,2 и 64,1 МПа (1 сут); 52,4 и 65,4 МПа (3 сут); 51,3 и 64,8 МПа (7 сут) соответственно. Таким образом, установлено, что фракционный состав наполнителей влияет на удобоукладываемость бетонной смеси и на прочность полученных образцов серного бетона.

Таблица – Зависимость прочности на сжатие серного бетона от процентного соотношения компонентов (фракция наполнителей менее 0,16)

Компоненты	Номер состава	Состав серного бетона, %	Время набора прочности, сут.		
			1	3	7
			Прочность на сжатие, МПа		
Сера+песок+доломит фракция менее 0,16	1	70:10:20	35,4	35,8	36,1
	2	70:20:10	33,2	33,1	32,9
	3	60:20:20	32,1	33,4	33,4
	4	60:30:10	29,6	29,1	29,8
	5	60:10:30	33,4	33,9	34,3
	6	50:25:25	38,1	40,1	38,5
	7	50:40:10	31,2	32,5	32,4
	8	50:30:20	27,5	27,1	27,9
	9	50:20:30	35,4	35,8	36,1
	10	50:10:40	37,1	37,2	37,4
	11	40:30:30	42,5	43,1	43,7
	12	40:50:10	22,1	19,6	23,4
	13	40:40:20	50,2	52,4	51,3
	14	40:20:40	64,1	65,4	64,8
	15	40:10:50	39,2	40,2	39,9

Водопоглощение (W, %) образцов серного бетона оценивалось по потерям массы в возрасте 30, 60, 90, 120 сут. Для составов № 13 и 14 (таблица) водопоглощение составило, %: 0,042 и 0,057 (30 сут); 0,103 и 0,107 (60 сут); 0,481 и 0,738 (90 сут); 0,584 и 0,845 (120 сут) соответственно, что существенно ниже, по сравнению с портландце-

ментным бетоном. Плотность полученных образцов серного бетона составила 2,31–2,34 г/см³ [2–3].

Известно, что сера характеризуется высокой устойчивостью в минеральных кислотах, агрессивных солевых растворах и кислых газах. Серный расплав заполняет поры и капилляры на поверхности бетона, препятствуя миграции влаги и агрессивных веществ и уменьшая поверхность контакта бетона со средой. Поэтому разработка коррозионностойкого покрытия на ее основе является актуальной. Для получения коррозионностойкого покрытия получали образцы бетона – кубики размером 2×2×2 см, которые после твердения в возрасте 28 сут на воздухе подогревали в сушильном шкафу до температуры 140 °С и окунали в расплав серы. Серный расплав получали из шихты, состоящей из тонкомолотой серы и песчаного наполнителя фракции менее 0,16 мм, которые нагревали на песчаной бане при непрерывном перемешивании до температуры 140–150 °С до получения однородного расплава. Водопоглощение образцов составляло 0,2–0,3% (в более чем 10 раз ниже, по сравнению с контрольным образцом без покрытия). Устойчивость к действию растворов NaOH 1%, H₂SO₄ 30%, CH₃COOH 5%, которая оценивалась по потерям массы образцов, находилась в диапазоне 0,02–0,98% (<1%), что свидетельствовало об их химической стойкости.

Таким образом, разработан состав серного бетона на основе серы, песка и доломита, а также получено коррозионностойкое покрытие на основе серы с оптимальными физико-механическими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гматейко, В.В. Использование серы и серосодержащих отходов в дорожном строительстве / В.В. Гматейко, В.А. Золотарев // Обзорная информация. – М., 1990. – С. 62.

2. Булай, Т.В. Исследование водопоглощения серного бетона / Т.В. Булай, М.И. Кузьменков, Н.М. Шалухо, Д.М. Кузьменков // 83-я научно-техн. конф. проф.-препод. состава, научн. сотр. и асп. (с международным участием), 4–14 февраля 2019 г., Минск: сб. тезисов докладов [Электронный ресурс]. – Минск: УО БГТУ, 2019. – С. 44–45.

3. Булай, Т.В. Исследование физико-механических свойств серного бетона / Т.В. Булай, Д.М. Кузьменков, Н.М. Шалухо // Международная научная конференция «Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации», посвященной 50-летию Полоцкого гос. ун-та, 5–6 апреля 2018 г., Новополоцк: сб. материалов конф. – Новополоцк : Полоцкий гос. ун-т, 2018. – С. 46–48.

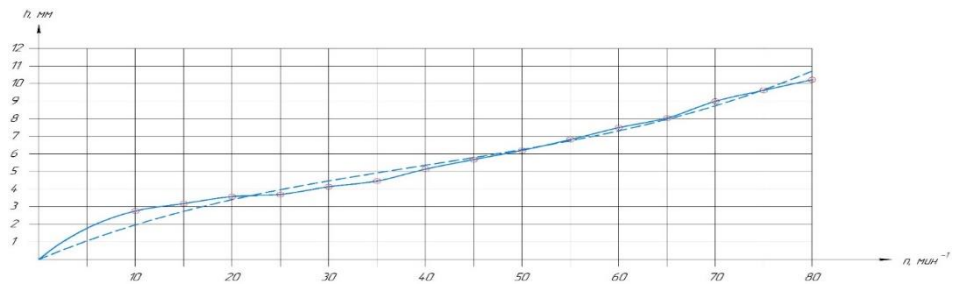
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛА В БАРАБАННОМ ГРАНУЛЯТОРЕ

Барабанные грануляторы используются при производстве строительных пористых материалов, NPK-удобрений, фосфорных удобрений, в фармацевтической, в пищевой и в химической промышленности и др.

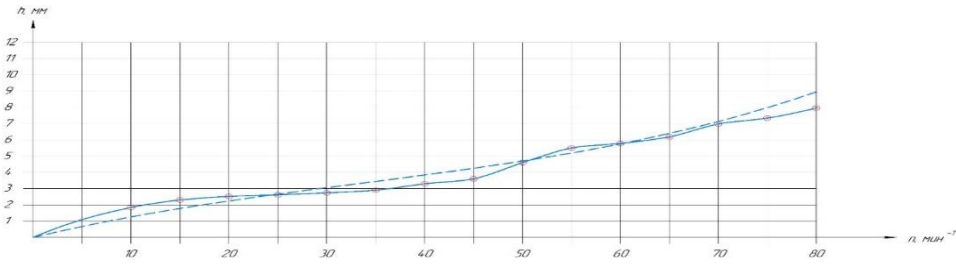
Моделирование проводилось в программе SOLIDWORKSMotion. Для изучения процесса была построена 3D-модель барабанного гранулятора с внутренним диаметром барабана 210 мм и длиной 230 мм. Частота вращения барабана менялась от 10 до 80 об/мин. В ходе моделирования получили высоту подъема частиц, и траекторию их движения. После этого данные были сведены в таблицу 1. Затем были составлены графики зависимости высоты подъема частицы (h) от частоты вращения барабана (n) (рисунок 2).

Таблица 1 – Зависимость высоты подъема частицы от частоты вращения барабана

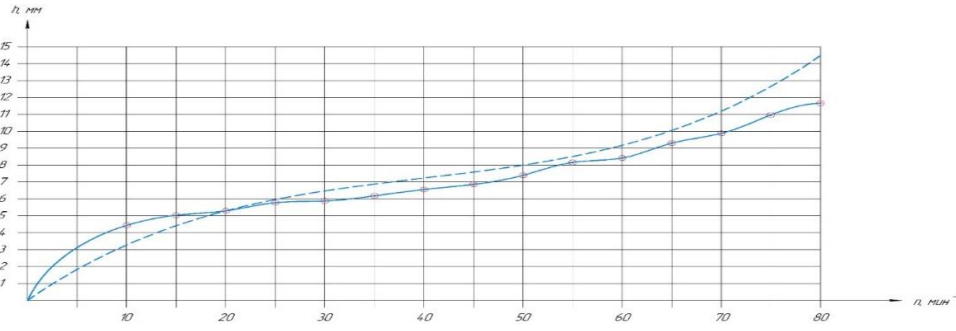
Частота вращения барабана n, об/мин	Высота подъема h, мм		
	Сферические частицы	Частицы цилиндрической формы, лежащие	
		Параллельно оси вращения барабана	Перпендикулярно оси вращения барабана
15	3,18	2,3	5,04
20	3,58	2,52	5,3
25	3,7	2,62	5,78
30	4,14	2,74	5,88
35	4,46	2,9	6,18
40	5,14	3,3	6,56
45	5,68	3,6	6,86
50	6,2	4,6	7,4
55	6,82	5,5	8,16
60	7,5	5,78	8,42
65	8,04	6,18	9,3
70	9	6,98	9,88
75	9,62	7,34	10,97
80	10,22	7,96	11,66



а



б



в

— экспериментальная линия
 — линия аппроксимации

Рисунок 2. Графики зависимости подъема частиц от частоты вращения барабана

а – частицы сферической формы; б – частицы цилиндрической формы, параллельно оси вращения барабана; в – частицы цилиндрической формы, перпендикулярно оси вращения барабана

После построения экспериментальной линии, была построена линия тренда (аппроксимации) и выведена зависимость в виде кубической функции:

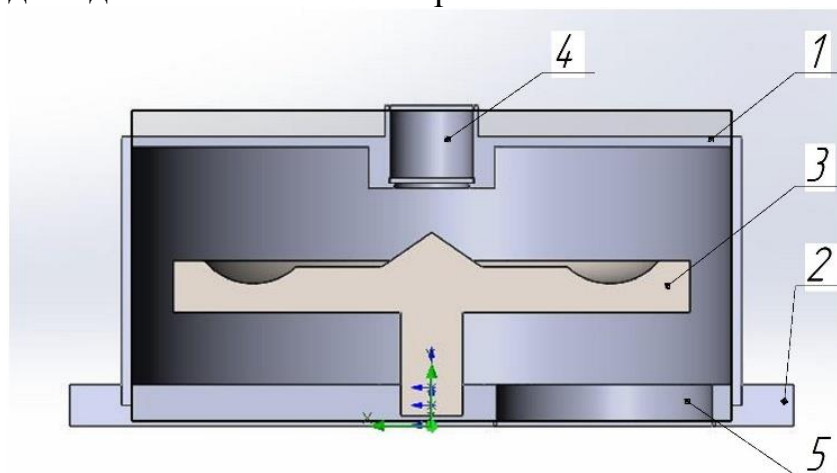
- для сферических частицы: $h = 3 \cdot 10^{-5} \cdot n^3 - 0,0036 \cdot n^2 + 0,2299 \cdot n$;
- для частиц цилиндрической формы, лежащих параллельно оси вращения барабана: $h = 7 \cdot 10^{-5} \cdot n^3 - 0,0084 \cdot n^2 + 0,4049 \cdot n$;
- для частиц цилиндрической формы, лежащих перпендикулярно оси вращения барабана: $h = 2 \cdot 10^{-5} \cdot n^3 - 0,002 \cdot n^2 + 0,1439 \cdot n$.

Таким образом, было проведено аналитическое исследование процесса гранулирования составлены графики зависимостей подъема частиц от частоты вращения барабана, а также выведены кубические уравнения.

ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПО РАЗМОЛЬНОМУ СТОЛУ СРЕДНЕХОДНОЙ МЕЛЬНИЦЫ С УГЛУБЛЕНИЕМ ТОРОИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ

Исследование движения частиц по размольному столу валковой среднеходной мельницы важно с точки зрения минимизации переизмельчения материала или, наоборот, недостаточного диспергирования. Так же компьютерное моделирование позволяет спроектировать устройства для закручивания газового потока, из условия непопадания частиц на стенки мельницы, и снижения их провала под размольный стол. В данной работе производилось моделирование движения частиц (диаметром 10 мм; 5 мм и 3 мм) по размольным столам (диаметром 500 мм) с углублением тороидальной формы (глубиной 19; 26 и 32 мм), при частоте вращения 50; 75; 100; 125 и 150 об/мин. Исследование движения частиц проводилось в программе SOLIDWORKS, это программный комплекс САПР для автоматизации работ на этапах конструкторской и технологической подготовки.

Модель для математического расчета состоит из:



1 – корпус, 2 – основание, 3 – размольный стол,
4 – загрузочное отверстия, 5 – разгрузочное отверстие

Рисунок 1 – Модель

Как видно из графика (рис. 2), для частиц диаметром 10 мм скорость слета с диска при частоте вращения 75 об/мин составила 0,833 м/с, при увеличении частоты вращения до 150 об/мин, скорость слета частицы увеличилась на 12,4% и составила 0,951 м/с, для частицы диаметром 5 мм скорость слета с размольного стола, при частоте вра-

щения 75 об/мин составила 0,778 м/с, при увеличении частоты вращения до 150 об/мин скорость в момент слета увеличилась на 24,47% и составила 1,03 м/с. Для частиц диаметром 3 мм скорость слета при частоте вращения 75 об/мин составила 0,909 м/с, при частоте вращения 150 об/мин она увеличилась на 15,8% и составила 1,08 м/с.

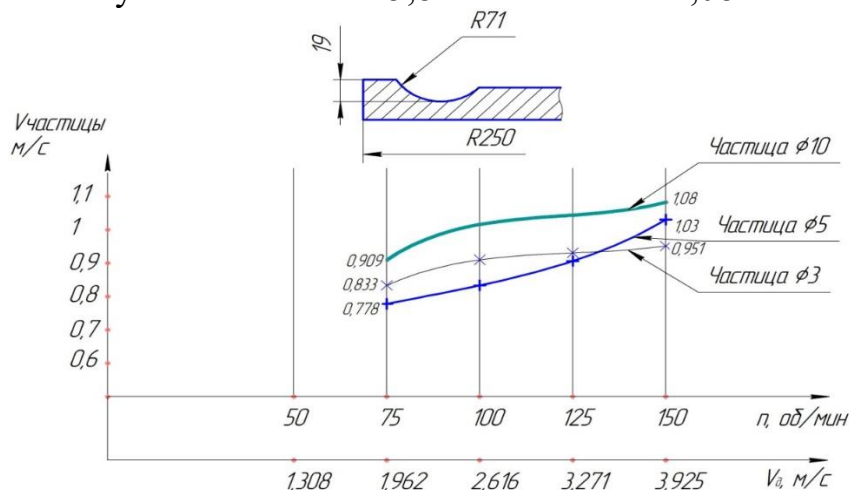


Рисунок 2 – Диск с углублением 1 вариант глубиной 19 мм

При исследовании размольного стола глубиной желоба 26 мм (рис.3) были получены следующие данные: частицы начали слетать с диска только при частоте вращения 100 об/мин. Были получены следующие данные: для частицы диаметром 10 мм при 75 об/мин, скорость слета составила 0,646 м/с, при увеличении частоты вращения до 150 об/мин, скорость в момент слета увеличилась на 18,6% и составила 0,794 м/с. Частица диаметром 5 мм, скорость в момент слета равна 0,605 м/с, при увеличении частоты вращения до 150 об/мин, она увеличилась на 19,6% и составила 0,753 м/с. Для частицы диаметром 3 мм скорость слета при 75 об/мин составила 0,754 м/с, при увеличении частоты вращения, скорость возросла на 13,3% и составила 0,87 м/с.

На графике представлены скорости в момент слета частиц с размольного стола с желобом глубиной 32 мм (рис. 4). Были получены следующие данные: частицы диаметром 3 мм слетела с размольного стола при частоте 100 об/мин, ее скорость в тот момент составила 0,856 м/с, при частоте 150 об/мин ее скорость возросла на 6,65% и составила 0,917 м/с, частицы диаметром 5 мм начали слетать с размольного стола при частоте вращения 125 об/мин, их скорость в момент слета составила 0,794 м/с, при увеличении частоты вращения до 150 об/мин, их скорость возросла на 1,85% и составила 0,809 м/с. Частицы диаметром 10 мм также начали слетать при частоте 125 об/мин, со скоростью 0,836 м/с, при частоте 150 об/мин их скорость увеличилась на 2,56% и была равна 0,858 м/с.

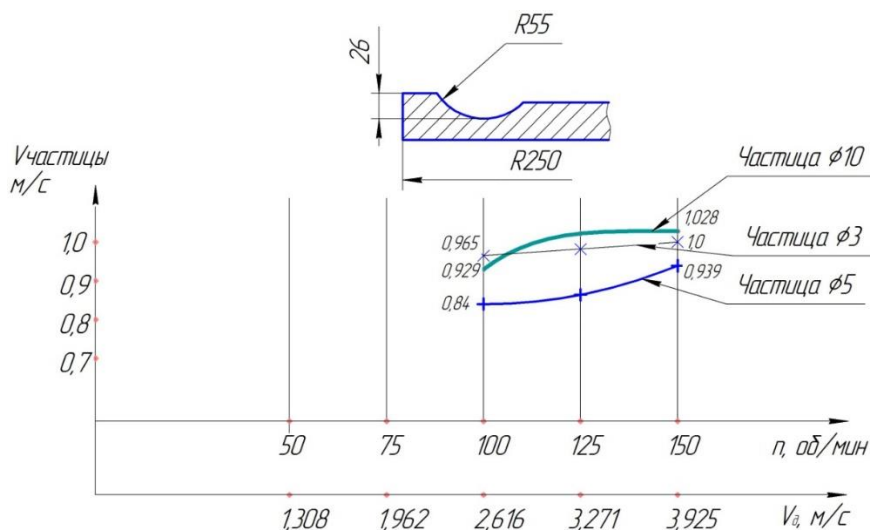


Рисунок 3 – Диск с углублением 2 вариант глубиной 26 мм

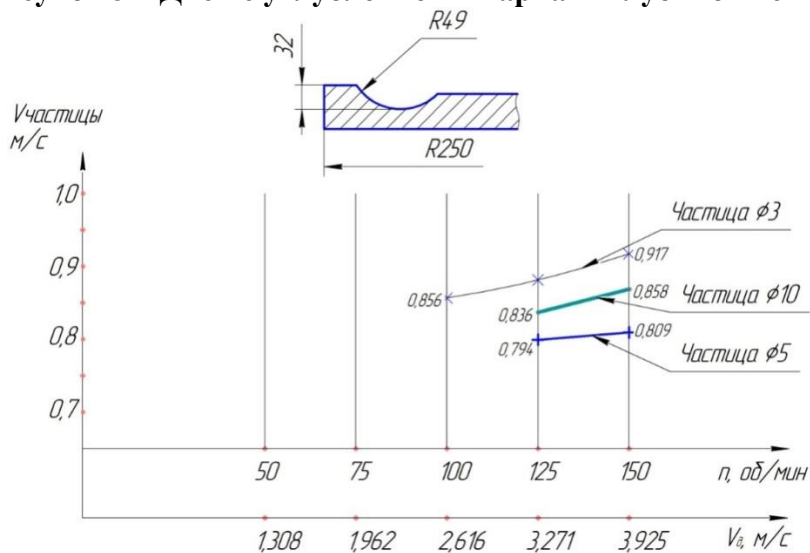


Рисунок 4 – Диск углублением 3 вариант с глубиной 32 мм

По результатам исследования можно сделать следующие выводы: при использовании размольного стола без отбортовки и углублений, частицы могут вылетать с размольного стола не измельчаясь, для качественного измельчения подходят размольные столы с формой, которая обеспечивает задержку частиц для помола до требуемого размера. При данных условиях эффективен размольный стол с углублением, глубина которого составляет 32 мм при частоте вращения размольного стола 125 об/мин, также эффективны размольные столы с углублениями небольшой глубины. Так же эффективны размольные столы с глубиной желоба 19 мм, при частоте вращения 150 об/мин, и размольный стол с желобом глубиной 26 мм, при частоте вращения 100 об/мин.

EVAPORATION OF A DROP IN A GAS STREAM

The development of the oil and gas production industry raises urgent questions about the effectiveness of fire protection means and systems. When fires are eliminated, water is used in 90% of cases. Water turns into water vapor, has a high degree of contact, effectively cools and neutralizes combustible gases, reduces the total temperature of the fire. It is also worth noting the high heat capacity of liquid droplets and their neutrality.

Evaporation of liquid droplets in a gas stream is investigated in the processes of combustion, fire extinguishing and mass exchange [1, 2].

Let's consider evaporation of water in a stream of water steam.

In laminar mode the speed of droplets deposition is described by the equation:

$$u = \frac{d_k^2 (\rho_k - \rho)}{18\mu}, \quad (1)$$

where d_k - drop diameter; ρ_k - water density; ρ and μ - gas density and viscosity respectively.

Here, as in further calculations, we will assume that due to the low values of saturated steam pressure in comparison with air pressure the physical properties of air and water steam mixture can be assumed to be equal to those of air at average temperature $t_{cp} = \frac{t_g + t_{возд}}{2}$.

Reynolds' number for a drop will be determined by the formula

$$Re = \frac{ud\rho}{\mu}. \quad (2)$$

The evaporation rate of water is described by the equation

$$w = \beta_y (p_H - p) MF, \quad (3)$$

where w - evaporation rate, kg / s; β_y - mass transfer coefficient in the gas phase, referred to partial pressures, mol/H*s- water vapor pressure on the drop surface (saturated vapor pressure), Pa; p - partial pressure of water va-

por in the air stream, Pa; M - molar weight of water, kg/mol; F - area of drop surface, m²

In this case, the Frössling equations can be used to calculate mass efficiency [3]:

$$\text{Sh} = 2 + 0,6\text{Re}^{0,5} \text{Sc}^{0,333}. \quad (4)$$

At the same time, Sherwood's number can be expressed as:

$$\text{Sh} = \frac{\beta_y dRT}{D}. \quad (5)$$

From equations (4) and (5) we can express the mass transfer coefficient:

$$\beta_y = \frac{D}{\delta RT} (2 + 0,6\text{Re}^{0,5} \text{Sc}^{0,333}). \quad (6)$$

The partial pressure of water vapour in the air flow will be taken to zero: $p \approx 0$.

The surface area of the drop is equal: $F = \pi d^2$. (7)

Then taking into account equations (6) and (7), equation (3) will take form:

$$w = \frac{\pi D p_H M d}{RT} (2 + 0,6\text{Re}^{0,5} \text{Sc}^{0,333}). \quad (8)$$

The evaporation rate of a drop can also be described using the equation:

$$w = -\frac{dm}{dt} = -\frac{d}{dt} \left(\frac{\pi d^3}{6} \rho_{\kappa} \right) = -\frac{\pi \rho_{\kappa} d^2}{6} \frac{dd}{dt}, \quad (9)$$

where m - the weight of a drop, kg; t - time, s.

where m - the weight of a drop, kg; t - time, s.

$$\frac{\pi D p_H M d}{RT} (2 + 0,6\text{Re}^{0,5} \text{Sc}^{0,333}) = -\frac{\pi \rho_{\kappa} d^2}{6} \frac{dd}{dt}, \quad (10)$$

or

$$-\frac{dd_{\kappa}}{dt} = \frac{2 D p_H M}{RT \rho_{\kappa} d} (2 + 0,6\text{Re}^{0,5} \text{Sc}^{0,333}). \quad (11)$$

Putting in equation (2) instead of speed its expression from (1), we will get

$$\text{Re} = \frac{d_{\kappa}^3 (\rho_{\text{ж}} - \rho) \rho g}{18\mu^2}. \quad (12)$$

Then equation (11) will take the form

$$-\frac{dd_{\kappa}}{dt} = \frac{4Dp_{\text{H}}M}{RT\rho_{\text{ж}}d_{\kappa}} \left(1 + 0,1\text{Sc}^{1/3} \left[\frac{(\rho_{\text{ж}} - \rho) \rho g}{2\mu^2} \right]^{1/2} d_{\kappa}^{3/2} \right). \quad (13)$$

Enter the following designations:

$$A = \frac{2Dp_{\text{H}}M}{RT\rho_{\text{ж}}}; \quad (14)$$

$$B = \left(0,1\text{Sc}^{1/3} \left[\frac{(\rho_{\text{ж}} - \rho) \rho g}{2\mu^2} \right]^{1/2} \right)^{-1/3}. \quad (15)$$

Subject to the accepted designations, we'll get

$$dt = -\frac{B^3 d_{\kappa} dd_{\kappa}}{2A(B^3 + d_{\kappa}^{3/2})}. \quad (16)$$

In turn, by accepting that

$$x = d_{\kappa}^{1/2}, \quad (17)$$

we'll get

$$dt = \frac{B^3 x^3 dx}{A(B^3 + x^3)} = -\frac{B^3}{A} \left(1 - \frac{B^3}{B^3 + x^3} \right) dx. \quad (18)$$

Integrating the resulting equation - the left part in the boundaries from 0 to t and the right part in the boundaries from x_0 to 0, after the transformation we will finally get

$$t = \frac{B^4}{A} \left(\frac{x_0}{B} - \frac{1}{6} \ln \frac{\left(1 + \frac{x_0}{B} \right)^2}{\left| 1 - \frac{x_0}{B} + \left(\frac{x_0}{B} \right)^2 \right|} - \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\text{arctg} \left(\frac{2\frac{x_0}{B} - 1}{\sqrt{3}} \right) + \text{arctg} \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) \right) \right) \quad (19)$$

Let's calculate the path h that a drop takes until it completely evaporates, using the equation:

$$dh = -udt. \quad (20)$$

By substituting in the last equation together the speed of its expression from equation (1), and together with time its expression from (16), we obtain

$$dh = \frac{(\rho_{\text{ж}} - \rho) g B^3 d_{\text{к}}^3 dd_{\text{к}}}{36\mu A (B^3 + d_{\text{к}}^{3/2})}. \quad (21)$$

By entering the designation

$$C = \frac{18\mu A}{(\rho_{\text{ж}} - \rho) g}, \quad (22)$$

and also going back to equation (17):

$$x = d_{\text{к}}^{1/2},$$

as a result, we write

$$dh = \frac{B^3}{C} \left(x^4 - B^3 x + \frac{B^6 x}{B^3 + x^3} \right) dx. \quad (23)$$

After integrating equation (23) - the left part within the range from 0 to h and the right part within the range from 0 to x_0 and after the corresponding transformations, we will get

$$h = \frac{B^8}{C} \left[\frac{1}{5} \left(\frac{x_0}{B} \right)^5 - \frac{1}{2} \left(\frac{x_0}{B} \right)^2 - \frac{1}{6} \ln \frac{\left(1 + \frac{x_0}{B} \right)^2}{\left| 1 - \frac{x_0}{B} + \left(\frac{x_0}{B} \right)^2 \right|} + \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\operatorname{arctg} \frac{2 \frac{x_0}{B} - 1}{\sqrt{3}} + \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{3}} \right) \right]. \quad (24)$$

LITERATURE

1. Baratov A. N., Ivanov V. N. Firefighting. -M. : Chemistry, 1979. - c. 368.
2. Lykov A.V. Heat and Mass Transfer in Evaporation Processes // Engineering and Physics Journal. -1962. T. 5, № 11. - - C. 12-24.
3. Green H., Lane V. Aerosols - dusts, fumes and mists. Leningrad: Chemistry; 1972. p. 427.

ГЛАЗУРНЫЕ ПОКРЫТИЯ КРАКЛЕ ДЛЯ ДЕКОРИРОВАНИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ КЕРАМИКИ

Глазурное покрытие кракле представляет собой стекловидный слой с искусственно полученной сеткой трещин поверхности глазури. Такой декоративный эффект, вызываемый образованием трещин, обеспечивается, когда изделия сразу после термической обработки оставляют на некоторое время на сквозняке или погружают в проточную воду. Существует иной метод получения глазурного покрытия кракле, который заключается в значительном несоответствии температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) керамического черепа и глазури, что в свою очередь также вызывает сетку трещин.

Процесс формирования таких покрытий является результатом высокого поверхностного натяжения и связанного с ним ослабления смачивающей способности глазурных суспензий при высокой вязкости глазурного расплава.

В данной работе синтезировались глазури кракле, которые предназначены для декорирования художественной керамики.

Декоративные покрытия кракле синтезировались на основе фриттованных глазурей промышленных составов, к которым осуществлялась добавка составляющих, обеспечивающих резкое повышение или снижение значений ТКЛР, с целью формирования при обжиге декоративных покрытий. В качестве фриттованной составляющей использовалась фритта прозрачной глазури № 189, а также фритта глушеной глазури 5Н, используемые на ОАО «Белхудожкерамика».

Огнеупорная глина ДНПК или глина «Гайдуковка» вводилась с целью поддержания частиц фритты и других компонентов во взвешенном состоянии при приготовлении глазури, а также повышения реологических характеристик получаемой суспензии.

Оксид цинка (цинковые белила) вводился с целью придания покрытию эффекта кракле. Его содержание изменялось в диапазоне 15–33 мас. %.

Фритта вводилась с целью повышения разлива и снижения температуры плавления. Содержание фритт № 189 и 5Н исследовалось в интервале 32–56 мас. %.

Главное назначение глинистых материалов (глины огнеупорной и каолина просяновского) – стабилизация глазурного шликера. Глина

способствует удержанию в глазурном шликере отдельных частиц во взвешенном состоянии. Добавка глины способствует также повышению прочности связи между глазурью и керамическим черепком. Содержание глины находится в диапазоне 10–30 мас. %, каолина – 10–25 мас. %.

Вводился бой гипсовых форм в количестве 17–23 мас. %.

Приготовление глазури велось путем совместного мокрого помола составляющих шихты в микрошаровой мельнице Speedy-1 (Италия) до полного прохождения через сито с сеткой № 0056. Влажность глазурного шликера –42,0–44,0 %, его плотность (по ареометру) – 1570–1620 кг/м³. Толщина нанесенного покрытия составляет –1,0–1,3 мм.

Глазурованные изделия подвергались термообработке в электрической печи фирмы Netzsch (Германия) при температуре 1000±5 °С с выдержкой при максимальной температуре 1,0 ч. Полученные глазурные покрытия имеют эффект сборки с очень крупной, замыкающей сеткой трещин, хаотично расположенной по поверхности обожженного керамического черепка. Отмечено, что глазурное стекло обладает хорошей адгезионной способностью к керамическому изделию.

Глазури кракле для декорирования майоликовых изделий подвергались определению температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), блеска, белизны, а также микротвердости.

ТКЛР образцов определяли на электронном dilatометре марки DIL 402 PCNetzsch (Германия). Значения ТКЛР глазурей варьировались в интервале (46,40–52,30)·10⁻⁷ К⁻¹, и закономерно снижались при повышении содержания оксида цинка в их составе. Керамический черепок, на который наносились покрытия, имеет значения ТКЛР, составляющие (60,7–61,4)·10⁻⁷ К⁻¹.

Микротвердость глазурных покрытий определяли на приборе Wolpert Wilson Instruments (Германия), осуществляющем автоматический расчет значений данного показателя по размерам диагонали отпечатка, полученного при вдавливании квадратной алмазной пирамидки в образец. Погрешность определения ±1 %. Показатели микротвердости варьируются в пределах 4900–5120 МПа.

Для измерения блеска и белизны глазури использовался блескомер ФБ-2 (Россия). В качестве эталона применялась баритовая пластинка со значением белизны 100 %. Значения белизны синтезируемых глазурных покрытия изменялись в пределах 55–65 %.

Для измерения блеска в качестве эталона применялось увиолевое стекло. Значения блеска покрытий находились в диапазоне 45–63 %.

Характер поверхности полученных покрытий приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Синтезированные глазурные покрытия кракле

Для усиления декоративного эффекта в образующуюся сетку трещин иногда втирались контрастные, блестящие яркие глазурные суспензии с последующим обжигом или выполнялось тонирование черепка изделий растворами солей металлов. Рисунок эффекта кракле глазури чаще всего достигается, если трещиноватость глазури образуется на начальной стадии сушки. Дальнейшее углубление трещин и их рельефность обеспечивается уже при обжиге [1].

Интересные декоративные эффекты получаются путем объединения двух слоев глазури кракле различного цвета, формы и размеров рельефных трещин [2]. Например, после того, как высушенное глазурное покрытие кракле начало давать волосяные трещины, изделие с покрытием нагревают до температуры 150–160 °С и погружают в соль кобальта. Затем производят промывку изделия и обжигают при температуре 800–850 °С. После обжига изделие погружают в раствор соли

железа и снова обжигают при 400–450 °С, после чего появляется сетка трещин, которая обладает высокодекоративными и эстетическими свойствами, объединив два глазурных покрытия.

Рентгенофазовый анализ глазурных покрытий проводился с помощью прибора Bruker D8 ADVANCE (Германия). Рентгенограмма глазурного покрытия приведена на рисунке 2.

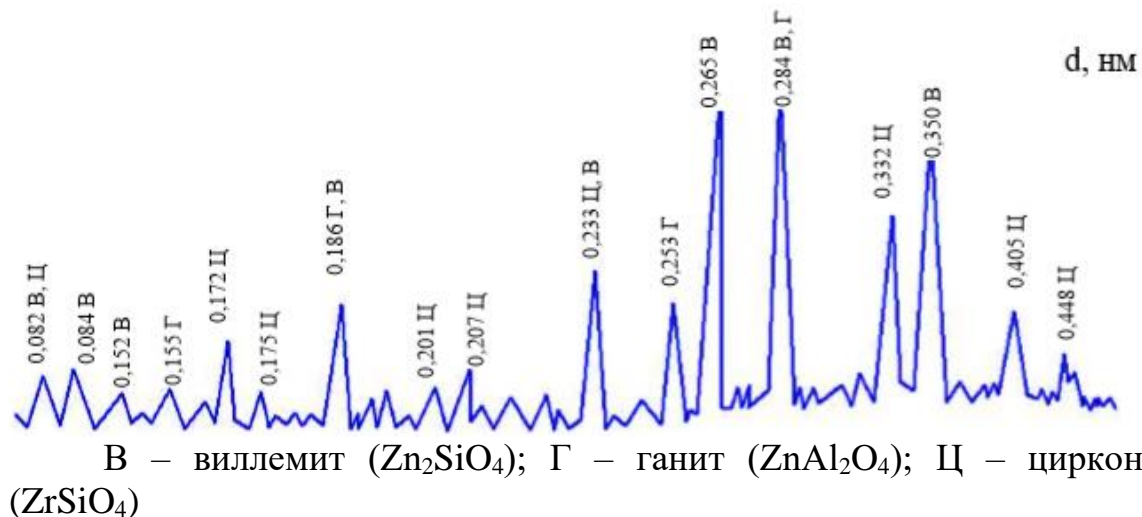


Рисунок 2 – Рентгенограмма оптимального состава, обожженного при температуре 1000 °С

Как видно из рентгенограммы, представленной на рисунке 2, в синтезированном покрытии оптимального состава присутствуют фазы ганита ($ZnAl_2O_4$), виллемита (Zn_2SiO_4) и циркона ($ZrSiO_4$).

Образование кристаллических фаз виллемита и ганита обусловлено введением цинковых белил, за счет которых образуется эффект сборки и кракле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левицкий И. А., Костик Е. А. Глазури кракле для майоликовых изделий / Материалы докладов XXIII Международной научно-технической конференции «Технология–2020», Северодонецк, 2020 г. – Северодонецк: Восточно-украинский национальный университет им. В. Даля, 2020. – С. 80–81.

2. Бъчваров, С.Ж. Глазури за керамични изделия / С.Ж. Бъчваров, С.И. Стефанов. – София: Държавно издателство «Техника», 1985. – 301 с.

ОСОБЕННОСТИ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПРАВОВОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРАВОНАРУШЕНИЯ

Огромный вред окружающей среде наносится в процессе осуществления хозяйственной деятельности, особенно промышленными предприятиями. В этой ситуации государство должно стимулировать субъекты хозяйственного права минимизировать негативное влияние на окружающую среду в ходе своей деятельности. Одним из способов, применяемых государством, является хозяйственно-правовая ответственность.

Хозяйственно-правовая ответственность является комплексным правовым институтом хозяйственного права, предметом регулирования которого являются хозяйственные отношения. Так, например, О.М. Винник считает, что хозяйственно-правовая ответственность – это имущественно-организационные по своему содержанию и юридические по форме меры воздействия на экономические интересы участников хозяйственных отношений в случае совершения ими хозяйственного правонарушения[1].

Таким образом, хозяйственно-правовая ответственность – это правоотношения, которые возникают вследствие правонарушения между субъектами хозяйствования и органом государственной власти или органом местного самоуправления, в результате чего субъект хозяйствования, виновный в совершении правонарушения испытывает неприятные последствия имущественного или организационного характера, предусмотренные хозяйственно-правовыми санкциями. За экологические правонарушения к субъектам хозяйствования могут быть применены такие санкции как административно-хозяйственный штраф и ограничение или приостановка деятельности субъекта хозяйствования. Кроме этого могут быть применены такие санкции:

– Компенсация ущерба. Под ущербом подразумеваются затраты потерпевшей стороны, потеря или повреждение имущества, а также не полученные доходы.

– Штрафные санкции в виде денежной суммы (неустойка, штраф, пеня), которые участник хозяйственных отношений обязан уплатить в случае нарушениковал

я им правил ведения хозяйственной деятельности, неисполнение или неприлежное исполнение хозяйственных обязательств.

– Оперативно-хозяйственные санкции – мера оперативного влияния на правонарушителя с целью остановки или предупреждения повторных нарушений обязательств, которые используются самими сторонами обязательств в одностороннем порядке, что предусматривается хозяйственными договорами.

К субъектам хозяйствования могут быть применены такие административно-хозяйственные санкции: изъятие прибыли (дохода); административно-хозяйственный штраф; взыскание сборов (обязательных платежей); остановка операций по счетам субъектам хозяйствования; применение антидемпинговых мер; остановка экспортно-импортных операций; применение индивидуального режима лицензирования; остановка действия лицензии на ведение субъектом хозяйствования определенных видов хозяйственной деятельности; ограничение или приостановка деятельности субъекта хозяйствования; отмена государственной регистрации и ликвидация субъекта хозяйствования. Решения о ограничении и приостановке деятельности субъекта хозяйствования могут принимать и органы местного самоуправления.

Мы согласны с мнением некоторых ученых о том, что административно-хозяйственный штраф и финансовые санкции – один и тот же вид ответственности [2].

К хозяйственно-правовой ответственности следует отнести принудительное лишение права на земельный участок, путем его бесплатного изъятия у субъекта хозяйствования. Такая ответственность предусмотрена Земельным Кодексом Украины (ст.ст.140,141) [3].

Итак, можно сделать вывод, что за экологические правонарушения к субъектам хозяйствования применяются меры хозяйственно-правовой ответственности, которые следуют из договоров и нормативно-правовых актов Украины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вінник О.М. Господарське право України // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://westudents.com.ua/glavy/58859-1-ponyattya-taoznaki-gospodarsko-pravovo-udpovdalnost.html>

2. Мірошніченко А.М. Земельне право України: Навчальний посібник. – К.: Алерта, ЦУЛ, 2011. – 678 с. // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.big-lib.com/book/10_zemelne_pravo_ukraini, с. 423

3. Земельний Кодекс України від 25.10.2001 р. № 2768-III // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2768-14>

ОСНОВЫ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НАКИПИ

Вода – основа человеческой жизни, без которой не обходится ни одна сфера человеческой деятельности. Вода – «строительный» материал для человека и его жизненных функций. Человек использует воду для питья и приготовления пищи, удовлетворения различных жизненных, хозяйственных, бытовых и санитарно-гигиенических, рекреационных потребностей. Только для жизненных потребностей человека ежедневно требуется 2,5 л чистой пресной воды, а с учетом всех его потребностей расход воды на одного человека в промышленно развитых странах составляют 300...600 л в сутки.

Спрос на воду в городах, на предприятиях и в поселках осуществляется путем устройства централизованных систем водоснабжения. Современный водопровод является системой сложных сооружений для добычи воды, очистки ее (если это нужно), хранения необходимых запасов и транспортировки к потребителю.

Канализация состоит из комплекса сооружений для организованного отведения сточной жидкости, очистки ее и выпуска в водоем. Правильное решение вопросов водоснабжения и канализации возможно только в комплексной увязке с вопросами энергоснабжения, газоснабжения, транспорта и др.

Состояние источников водоснабжения и качество питьевой воды непосредственно влияют на здоровье населения. Так, по данным Всемирной организации здравоохранения здоровья (ВОЗ), 25% населения постоянно рискует заболеть болезнями, связанные с потреблением недоброкачественной питьевой воды.

В развивающихся странах, каждый третий житель страдает из-за нехватки питьевой воды и необходимых санитарных условий – основных требований для здоровой и достойной жизни. В этих странах приблизительно 80% всех болезней и 1/3 смертельных случаев вызваны потреблением загрязненной воды.

Накипь – твердые отложения, образующиеся на тех поверхностях теплообменных аппаратов, на которых происходит нагревание (кипения, испарения) воды с растворенными солями жесткости [1].

При нагревании воды соли, содержащиеся в ней, разлагаются на углекислый газ и нерастворимый осадок (тоже соль). Этот осадок от-

кладывается на ТЭН и внутренних поверхностях устройств, приводя их в негодность. Пример накипи – твердые отложения внутри чайников.

Виды накипи: причиной образования накипи на нагревательных элементах является чрезмерное количество растворенных в воде солей кальция и магния. Чем больше этих солей, тем более «жесткой» является вода. По химическому составу преимущественно встречается накипь угольная (углекислые соли кальция и магния - CaCO_3 , MgCO_3), сульфатная (CaSO_4) и силикатный (кремнекислых соединения кальция, магния, железа, алюминия).

Накипь значительно ухудшает теплопроводность металла. Через дополнительную теплоизоляцию электронагреватель увеличивает свою температуру до установления нового равновесия производимого тепла и его отдачи через слой накипи [2, 3]. Поскольку при повышении температуры сопротивление проводника увеличивается, его мощность снижается. Итак, время на нагрев воды увеличивается - как за счет замедления теплопередачи на начальном этапе, так и за счет постоянного снижения мощности в рабочем режиме. Количество потребленной электроэнергии для нагрева одинакового количества воды с одинаковой температуры при этом почти не меняется (меняется потребляемая мощность и время нагрева).

Теплопроводность накипи в десятки, а зачастую в сотни раз меньше теплопроводности стали, из которой изготавливают теплообменники. Поэтому даже тончайший слой накипи создает большое термическое сопротивление и может привести к такому перегреву труб паровых котлов и пароперегревателей, что в них образуются видимых, часто вызывают разрыв труб [4].

Рассмотренный нами электромагнитный аппарат «И» предназначен для очистки и защиты от отложений накипи и минеральных солей на внутренних поверхностях трубопроводов, турбокомпрессоров, водонагревательного и отопительного оборудования (котлы, бойлеры, теплообменники, радиаторы), парогенераторов, систем центрального отопления и водоснабжения, а также стиральных и посудомоечных машин, холодильной техники. Аппарат может использоваться как самостоятельно, так и в качестве дополнения к уже имеющимся системам водоподготовки.

Комплекс аппаратуры «И» состоит из источника коротких электрических импульсов, серия электромагнитов–«импульсаторов» (в комплекте от 2 до 12 шт). Источник состоит из электронного блока, расположенного в пластиковом корпусе. Электронное устройство SMD-комплектации с микропроцессором, который генерирует сигнала-

лы запатентованной частоты модуляции волн в диапазоне звуковых-частот. От генерирующего электронного блока электромагнитные волны передаются по проводам к импульсаторам. Импульсаторы торцами устанавливаются на внешней поверхности подлежащего обработке трубопровода и крепятся винтами на стяжных хомутах. Пластиковый корпус аппарата устанавливается в месте удобном для контроля за работой светодиодов пульта управления. Аппараты питаются от сети 220 вольт, потребляемая мощность линейки моделей 125 Вт., в т.ч бытовой «И» -20Вт.

Принцип работы

Под действием электромагнитных волн звукового диапазона в зоне установки импульсаторов создается «магнитная линза», феномен воздействия которой приводит к переменному электрическому полю и резонансным колебаниям гидратных оболочек и микрокластерных систем. «И» не изменяет химсостава воды, не привносит ничего, кроме импульсной энергии, которая создает излучающие поля в режиме «бегущей волны». При этом вода становится «мягкой». Старая накипь постоянно разрыхляется на поверхности и смывается потоком жидкости (эффект «мягкой очистки»). Новые отложения на внутренней поверхности оборудования не формируются, т.к. центры кристаллизации перемещены в толщу потока водосодержащей жидкости. Процесс магнитного структурирования происходит при движении воды постоянно до полного удаления минеральных отложений.

Таблица – Основные параметры и условия эксплуатации

Максимальный диаметр обрабатываемого труб.	до 1200 мм.
Протяжённость эффективной магнитной защиты тру-	не более 700 м
Рекомендуемая жёсткость воды работы аппарата	до 21 мгэкв/л
Температура поверхности трубопровода	От 5 до 115 °С
Диапазон генерируемых частот	до 0,9 кГц
Габариты корпуса мощного промышленного аппарата	120x170x270 мм
Рекомендуемое количество импульсаторов оподе	до 12
Параметры импульсатора	Ø100x90мм
Масса комплекта	не более 11 кг
Время непрерывной работы	24 часа/сутки
Ресурс работы	10 лет
Потребляемая мощность	до 125 Вт
Напряжение питания	220 В, 50Гц

Альтернативные виды водоподготовки и их особенности:

Ультразвуковая: врезка или приварка излучателей в систему; необходимость остановки системы на время монтажа; неприятный звук в помещении, где работают излучатели ультразвукового устройства; возможность развития микротрещин, при работе ультразвуковых устройств; воздействует локально.

Постоянными магнитами: магнитная обработка требует врезки в систему; необходимость остановки системы на время монтажа; эффект

«привыкания воды». Через 3 месяца снижение эффекта воздействия; критичны к повышению температуры; требуется периодическая чистка магнитов.

Фильтры-умягчители реагентные: умягчитель удаляет из воды кальций и магний. При этом зачастую изменяется химический состав воды.

Реагентная (при помощи комплексонов): содержание обслуживающего персонала (человеческий фактор); высокая стоимость оборудования; постоянная покупка и дозирование реагентов; высокие энергозатраты на эксплуатацию; объёмность системы и большая комплектность; громоздкость, высокая трудоёмкость монтажа и наладки; экологически небезопасный технологический цикл.

Электромагнитная бесконтактная водоподготовка не имеет вышеупомянутых недостатков, но при необходимости (по требованию нормативных документов) может дополнить химическую водоподготовку, является наиболее экономичной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Очистка воды от накипи, как важный этап водоподготовки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bwt.ru/useful-info/ochistka-vody-ot-nakipi-kak-vazhnyy-etap-vodopodgotovki/> (дата звернення: 27.04.2020).

2. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д.: Східний видавничий дім, 2004—2013. – 83 с., 158 с.

3. Хільчевський В.К. Водопостачання і водовідведення: гідроекологічні аспекти: Підручник. - К.: ВПЦ "Київський університет", 1999. - 319 с.

4. Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Основи гідрохімії. - К.: Ніка-Центр, 2012. - 312 с.

УДК 332.141.4/.6

Performed by S.V. Miller
Scientific hands. As. prof. A.I. Bielova, A.E. Kochedykova
(Department of Management, KNUSA, Kiev)

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT - A GUARANTEE OF THE FUTURE?

In the late 1990s and 1993, the scale of Ukraine's environmental problems became known. The country was largely ruined, lacked financial resources and political will to address the enormous environmental problems they faced, and as it later became clear, was a significant threat to society.

The state's environmental problems have had significant consequences, which were addressed only in the current century, when most countries faced an environmental catastrophe that would occur if the geopolitical position in the world was ignored, as were global environmental problems.

International corporations, under the guise of various international environmental activists, are putting pressure on competitors. Attention is paid to their production and the effects of emissions into the environment. Problems, their recognition and introduction of blocking duties and sanctions are sounded.

This can be counteracted if the various environmental threats are really effectively addressed, and the additional effect is that the environment becomes cleaner and safer for the population.

The government has changed its approach to environmental protection and updated environmental policy in the 21st century. It is projected that the negative effects of climate change have already led to economic damage, namely an increase in forest fires and smog, and this factor is prompting government officials to address the problem today.

It is advisable to separate the following most serious environmental - economic. These include:

- pollution of groundwater and water bodies in most parts of the country;
- air pollution from ventilation of untreated industrial by-products;
- significant concentration of chemicals from industry and agriculture.

The population is facing health problems, low birth rates and reduced life expectancy. This makes Ukraine one of the least positive demographic profiles in the world.

It should also be noted the main environmental problems in Ukraine. They remain unresolved for a long time. These are: air pollution by heavy industry, emissions from power plants and transport in large cities. It should be noted industrial, municipal and agricultural pollution of inland waters and roadsides; significant uncontrolled deforestation; abrading; soil contamination from improper use of agricultural chemicals. Also: groundwater pollution by toxic waste; municipal solid waste management.

All these problems indicate that industrial, energy and agricultural policies have long been ignored by government officials. Unfortunately, this has led to a lack of environmental protection, and a significant number of industries in the country are currently considered environmentally hazardous.

Today in Ukraine, most large industrial centers show poor air and water quality, which in almost all cities does not meet the standards.

It should also be noted that the growing number of cars increases air pollution, the quality of agricultural soils decreases as a result of erosion, and the dangerous disposal of radioactive materials pollutes water bodies.

It is worth noting that deforestation, which has a rapid uncontrolled nature due to mass illegal deforestation, leads to high levels of erosion and increased levels of carbon dioxide. Despite these growing deforestation rates, the government has so far made no clear efforts to implement a sound forest policy.

Industrial and agricultural production has led to a deterioration in the quality of agricultural land and the problem of providing the population with clean water is only growing.

With the increase of urbanization in our capital, the technical load continues to grow, followed by an increase in demand for water. This means that the number of citizens whose health is affected by toxic substances due to water supply of unacceptable quality is increasing.

Green technologies can be the solution to these problems. It should be noted that the percentage of renewable energy use in Ukraine is extremely small. However, the country has begun to invest in this source, which will increase the production and consumption of renewable energy and the use of clean (green) technology in the coming years.

LITERATURE

1. Menshikov VV, Shvyryaev IA Problems of risk analysis for the population and the environment in case of air pollution. – M.: MFY, 2004. – 202 c.

2. National report on the state of man-made and natural security in Ukraine in 2003. K.: 2004. – 435 c.

3. Bokov VA, Lushchik AV Fundamentals of environmental safety: a textbook. – Simferopol: SONAT, 1998. – 224p.

4. Methodological aspects of determining environmental risks Us-timenko VM Proceedings of the All-Ukrainian scientific-practical conference. – Kyiv: Center for Environmental Education and Information, 2007. – P. 14-21

5. Shmandiy VM, Nekos VY Environmental safety: Textbook. – H.: NVF "Ecograph", 2008. – 436 p.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА В АТМОСФЕРЕ ДЫМОВЫХ
АЭРОЗОЛЕЙ ОТ ПОЖАРОВ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ**

В результате возникновения чрезвычайных ситуаций, таких как аварии на предприятиях или лесные пожары, может быстро ухудшиться качество атмосферного воздуха. В области, оказавшейся под влиянием пожара, предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе могут превышать в несколько раз. Продукты горения включают высокодисперсные частицы, которые образуют дымовую аэрозоль. Опасность их поступления в атмосферу заключается в том, что перенос такого типа аэрозолей может происходить на дальние расстояния, может наблюдаться трансграничный перенос. Вместе с тем, аэрозольные частицы играют важную роль в процессах, протекающих в атмосфере. Во-первых, они способны влиять на радиационный режим атмосферы из-за их способности поглощать, отражать и рассеивать световое и тепловое излучение. Во-вторых, аэрозоль участвует в формировании облачности и гидрологического режима атмосферы. В-третьих, различные физико-химические процессы на их поверхности и в объеме обеспечивают самоочищение атмосферы [1].

Особое значение имеет оценка распространения аэрозолей, образующихся в результате возгораний на территории, подвергшейся радиационному загрязнению. Это обусловлено тем, что велика вероятность вторичного радиоактивного загрязнения «чистых» и относительно «чистых» территорий. Опасность также связана с дополнительным облучением лиц, участвующих в тушении пожаров.

В связи с вышеизложенным оценка распространения аэрозолей, образующихся в результате лесных пожаров в Чернобыльской зоне отчуждения, является актуальной. Известно, что в результате аварии на Чернобыльской АЭС свыше 4 млн га земель лесного фонда Белоруссии, Украины и России оказались загрязнены радионуклидами. В Республике Беларусь территория лесного фонда, отнесенная к зонам радиоактивного загрязнения, составляет 1559,5 тыс. га или 16,3 % от общей площади (на 01.01.2020 г.). Поэтому риск возникновения крупных лесных пожаров в зоне радиоактивного загрязнения оценивается как существенный.

Исследование распространения загрязняющих веществ от промышленных объектов, от лесных и торфяных пожаров, а также прогноз экологической обстановки городов и многие другие задачи могут быть решены благодаря использованию атмосферных моделей пере-

носа [1]. Одной из наиболее известных моделей является модель Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT)[2].

HYSPLIT используется для отслеживания и прогнозирования выброса радиоактивных материалов, дыма от пожаров, выдуваемой ветром пыли, загрязнителей из различных стационарных и мобильных источников выбросов.

Метод расчета по модели представляет собой гибрид метода Лагранжа, использующего движущуюся систему отсчета для расчетов адвекции и диффузии при перемещении траекторий или воздушных участков от их исходного местоположения, и методологии Эйлера, которая использует фиксированную трехмерную сетку в качестве системы отсчета для расчета концентраций загрязняющих веществ в воздухе.

Отличительной особенностью этой модели является то, что в ней используются метеорологические данные краткосрочных прогнозов по стандартным численными моделями прогноза погоды. Как правило, эта информация представлена на регулярной пространственной сетке и включает в себя данные о вертикальном распределении горизонтальной и вертикальной компонент ветра, температуры и давления, а также приземном давлении и некоторых других параметрах [2].

Целью работы являлась оценка распространения аэрозольных частиц, образующихся при лесных пожарах в Чернобыльской зоне отчуждения, с использованием модели HYSPLIT.

Моделирование проводилось методом прямых траекторий, в качестве алгоритма расчета траекторий был выбран frequency. В этом случае алгоритм формирует траектории аэрозольных частиц из одного места через определенные промежутки времени, а затем определяет частоту, с которой траектория проходила по расчетной ячейке сетки, а затем нормализует их.

В качестве исходных данных было принято, что верховой лесной пожар (высота 25 м) начался в Киевской области в районе села Владимирова (координаты 50.885481, 30.134431) в 13:00 4 апреля 2020 [3]. Исходный файл с метеорологическими данными в формате ARL получен с официального сайта NOAA.

Результаты моделирования распространения аэрозолей приведены на рисунке, который позволяет увидеть полную картину распространения радиоактивных веществ в результате лесного пожара. На рисунке изображено облако рассеивания образовавшихся аэрозольных частиц, полученное по моделям переноса и рассеивания, заложенных в алгоритмах модели HYSPLIT. Размер поля рассеивания аэрозоля превышает 400 км и распространяется на территории России, Белару-

си и Украины. Наибольшее количество аэрозолей переносится на территорию Беларуси и Украины.

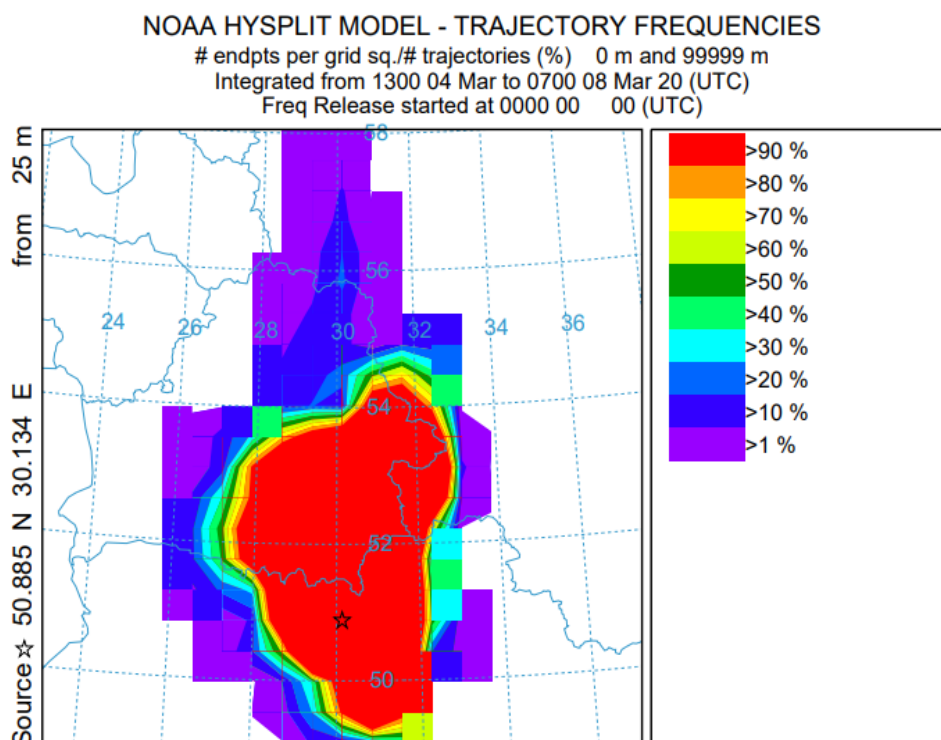


Рисунок – Результаты моделирования распространения аэрозольных частиц от пожаров в Чернобыльской зоне отчуждения

Исходя из полученных при моделировании данных можно сделать вывод, что образующийся в результате пожаров в Чернобыльской зоне отчуждения дымовой аэрозоль, мог переноситься воздушными массами на территорию Республики Беларусь, а именно в юго-восточную ее часть захватывая Гомельскую, Могилевскую и частично Минскую области. Следует отметить, что приведённые выше расчёты носят оценочный характер, поскольку на точность определения полей траекторий аэрозолей влияет множество факторов, которые не могут быть в полной мере учтены при моделировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование распространения загрязняющих веществ в атмосфере при лесных пожарах [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://meteoinfo.ru/images/misc/sovet/disserkirsanov/kirsanov_dis.pdf. – Дата доступа: 29.05.2020.

2. HYSPLIT [Electronic resource] /Air Resources Laboratory, Advancing Atmospheric Science and Technology through Research. – Mode of access: <https://www.arl.noaa.gov/hysplit/hysplit/>. – Date of access: 14.04.2020.

УДК 544.654.2

Студ. Г.А Печенова, магистрант И.А Черник
Науч. рук.: зав. кафедрой, канд. хим. наук И.И Курило (кафедра
физической, коллоидной и аналитической химии, БГТУ);
зав. кафедрой, канд. хим. наук А.А. Черник (кафедра химии, технологии
электрохимических производств и материалов электронной техники)

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ПОРОШКОВ НИКЕЛЯ

Внедрение технологии порошковой металлургии никеля в промышленность способствует успешному решению сложных задач в создании новых электрохимических моделей, обладающих абсолютно новыми, прогрессивными свойствами. Поэтому, применение порошков никеля, открывает большие возможности для развития машиностроения.

Основными потребителями металлических порошков являются порошковая металлургия, производство аккумуляторов, лакокрасочная и химическая промышленность (использование катализаторов – Cu, Ni, Fe), гидроэлектрометаллургия (процессы цементации).

Электролитические порошки получают контактным вытеснением и методом электролиза. Контактным вытеснением компоненты обладают высокой степенью чистоты, высокой коррозионной стойкостью и химической активностью. Поскольку с помощью электролиза можно варьировать дисперсность, насыпную плотность, скорость получения порошков, то этот метод получил большое развитие в промышленности.

Цель работы - исследование процесса получения порошка никеля электролитическим способом, содержащем гранулы высокой дисперсности.

Для электролитического получения порошка никеля применяли электролит, содержащий $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NaCl , NH_4Cl . Для поддержания постоянства состава электролита использовали комбинированные аноды, подобрав соотношения площадей никелевых и графитовых анодов в соответствии с катодным выходом по току. Получение катодных поляризационных кривых с наложением ультразвука (УЗ) и без УЗ в электролитах для получения порошков никеля осуществляли

при помощи потенциостата-гальваностата Autolab PGSTAT 302N в стандартной трехэлектродной ячейке ЯСЭ-2.

Анализ поляризационных кривых показал, что повышение концентрации ионов никеля в исследуемых растворах приводит к снижению концентрационной поляризации электродов смещению поляризационных кривых в электроположительную область. При этом установлено, что повышение поляризации электродов приводит к увеличению вероятности образования новых зародышей и таким образом к снижению размеров частиц получаемых порошков никеля.

При наложении ультразвукового поля происходит снижение поляризации и позволяет проводить процесс при более высоких плотностях тока. Это приводит к возникновению кавитационных гидроударов, отрывающих частички порошка никеля от поверхности электрода и тем самым прекращает их рост, что способствует получению более мелких порошков никеля.

Установлено, что выход по току в электролитах без ультразвука находился в интервале 26 до 55 %, а в присутствии УЗ воздействия увеличивался от 52 до 55 % при повышении плотности тока от 15 до 100 А/дм² и концентрации электролита в интервале 0,1-20 г/л.

Проведение электролиза при ультразвуковом воздействии приводит к интенсификации процесса электрокристаллизации и увеличению дисперсности никелевых порошков по сравнению с электролизом в стационарных условиях.

Установлено, что при снижении плотности тока, выход по току никелевого порошка увеличивается. Минимальный выход по току характерен при концентрации 0,1 г/л NiSO₄·7H₂O и плотности тока 15 А/дм² и составляет 26 %, а максимальный выход по току наблюдался при концентрации электролита 20 г/л NiSO₄·7H₂O при плотности тока 15 А/дм² и составляет 55 %. Увеличение выхода по току с повышением концентрации связано со снижением диффузионных ограничений и облегчением подвода разряжающихся ионов к поверхности.

При наложении ультразвукового поля наблюдается увеличение дисперсности порошка никеля при увеличении плотности тока до 70 А/дм². При этом наибольший выход по току наблюдался при концентрации NiSO₄·7H₂O 2 г/л при плотности тока 30 А/дм² и составил 53,3 %, а минимальный выход по току составил 52 % при концентрации NiSO₄·7H₂O 0,1 г/л и плотности тока 30 А/дм².

Дисперсность никелевого порошка, определяли с помощью электронного микроскопа. Установлено, что при повышении плотности тока количество и размеры дендритов увеличиваются. Проведение электролиза при плотности тока до 70 А/дм^2 и концентрации $\text{NiSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ от $0,1 \text{ г/л}$ до 20 г/л приводит к образованию порошка никеля с размерами частиц от $0,1$ до $1,57 \text{ мкм}$.

Порошки никеля, полученные при плотности тока 30 А/дм^2 из сернокислого электролита никелирования с концентрацией $0,1 \text{ г/л}$ $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ имели структуру дендритов с размерами зерен микрокристаллов от $0,1$ до $0,3 \text{ мкм}$. При повышении плотности тока от 50 до 70 А/дм^2 и концентрации от $0,5$ до 2 г/л $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ можно было выделить обособленные частицы порошков с размерами от $0,2$ до $0,4 \text{ мкм}$.

Было установлено что при повышении плотности тока количество и размеры дендритов уменьшаются. Достижение плотности тока до 150 А/дм^2 при концентрации $\text{NiSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 5 и 20 г/л приводит к образованию порошка никеля с размерами частиц от $0,4$ до $0,6 \text{ мкм}$.

Данные энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии полученных порошков никеля показали порошок никеля получался достаточно чистым. Небольшое присутствие кислорода на диаграмме обусловлено сильными восстановительными свойствами порошков никеля в присутствии кислорода воздуха. Иные включения в порошке отсутствуют.

Таким образом, показано, что применение ультразвукового воздействия позволяет интенсифицировать процесс получения порошков никеля, увеличить применяемые плотности тока, увеличить дисперсность уменьшить разброс размеров отдельных гранул.