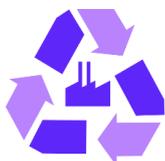


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова



**Лаборатория
«Рециклинг отходов топливной энергетики»**

**Международная научная школа
«Zero Waste»
для молодых ученых, аспирантов и студентов**

Тезисы докладов
27.05.2024 г. – 01.06.2024 г.
г. Новочеркасск

Новочеркасск
2024

УДК (502/504:66):378.4
ББК (20.1+35)+74.58
М43

Организационный комитет:

Яценко Елена Альфредовна, д-р техн. наук, профессор ЮРГПУ (НПИ) – председатель,
Смолий Виктория Александровна, канд. техн. наук, доцент ЮРГПУ (НПИ) – сопредседатель,
Старовойтов Александр Игоревич, директор инжинирингового центра
«Сквозные производственные технологии» ЮРГПУ (НПИ),
Климова Людмила Васильевна, канд. техн. наук, доцент ЮРГПУ (НПИ),
Рябова Анна Владимировна, канд. техн. наук, доцент ЮРГПУ (НПИ)

М43 Международная научная школа «Zero Waste» для молодых ученых, аспирантов и студентов: тезисы докладов, г. Новочеркасск, 27.05.2024 г. – 01.06.2024 г. / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: изд-во «НОК», 2024. – 255 с.

ISBN 978-5-8431-0548-8

В сборнике представлены тезисы докладов ведущих ученых-химиков-технологов, молодых ученых, аспирантов и студентов по направлениям современных прикладных исследований в области экологии, рационального природопользования и синтеза новых материалов.

УДК (502/504:66):378.4
ББК (20.1+35)+74.58

ISBN 978-5-8431-0548-8

© Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, 2024

ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ

- Чаудхари Сандип*, д-р техн. наук, профессор, Индийский технологический институт Индора, Индия – председатель,
- Яценко Елена Альфредовна*, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Общая химия и технология силикатов» ЮРГПУ (НПИ), Новочеркасск – сопредседатель,
- Гольцман Борис Михайлович*, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Общая химия и технология силикатов» ЮРГПУ (НПИ), Новочеркасск – член экспертного совета,
- Каспржицкий Антон Сергеевич*, канд. физ.-мат. наук РГУПС, Ростов-на-Дону – член экспертного совета,
- Вильбицкая Наталья Анатольевна*, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Общеинженерные дисциплины» ЮРГПУ (НПИ) Новочеркасск – секретарь

НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ ШКОЛЫ

1. Технологические аспекты рециклинга промышленных и бытовых отходов.
2. Проблемы и перспективы синтеза новых материалов для современного строительства.
3. Современное цифровое материаловедение.

ПРОГРАММА

**Международная научная школа
«Zero Waste»
для молодых ученых, аспирантов и студентов
27.05.2024 г. – 01.06.2024 г.
г. Новочеркасск**

27 мая 2024 г., понедельник, библиотечный корпус ЮРГПУ (НПИ) 213 каб.	
9 ⁰⁰ -9 ⁴⁵	Регистрация участников научной школы
10 ⁰⁰ -10 ¹⁵	Открытие международной научной школы
10 ¹⁵ -13 ⁰⁰	Лекции ведущих ученых лаборатории: 1. Использование переработанных нерудных материалов в строительстве: шаг к строительству без отходов (лектор С. Чаудхари) 2. Компьютерный дизайн углеродно-нейтральных материалов (лектор А.С. Каспржицкий)
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	Обеденный перерыв
14 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	Доклады участников научной школы:
28 мая 2024 г., вторник, библиотечный корпус ЮРГПУ (НПИ) 213 каб.	
9 ⁰⁰ -13 ⁰⁰	Доклады участников научной школы:
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	Обеденный перерыв
Доклады участников научной школы (заочная публикация):	
29 мая 2024 г., среда, библиотечный корпус ЮРГПУ (НПИ) 213 каб.	
Доклады участников научной школы (заочная публикация):	
30 мая 2024 г., четверг, библиотечный корпус ЮРГПУ (НПИ) 213 каб.	
15 ⁰⁰ -16 ⁰⁰	Подведение итогов научной школы «Zero Waste»
31 мая 2024 г., пятница	
Экскурсия по столице донского казачества г. Новочеркаску с посещением Патриаршего Вознесенского войскового всеказачего собора и Музея истории Донского казачества.	

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕЦИКЛИНГА ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

<i>Варфоломеева С.В., Бондаренко М.А.</i> Модифицирование керамических масс композитами на основе переработки отходов ванадиевого производства и синтезированными соединениями на их основе с использованием альтернативных источников энергии	9
<i>Варфоломеева С.В., Бондаренко М.А.</i> Ресурсо- и энергосберегающая плазменная технология глазурования стеновой керамики с использованием отходов обогащения железистых кварцитов КМА	13
<i>Вильбицкая Е.А., Вильбицкая Н.А., Вильбицкий С.А.</i> Разработка технологических параметров изготовления теплоизоляционных материалов на основе вспученного перлитового песка и отходов целлюлозного производства	16
<i>Глубшев Н.Ю., Сухенко Н.А.</i> Автоматизированная система подачи и регулирования подготовленного воздуха в тренажерах	20
<i>Головко Д.А., Смолий В.А., Головко Ю.Р.</i> Определение стадий и параметров ресурсосберегающей технологии получения алюмосиликатных пропантов на основе буровых отходов	23
<i>Горочкун А.С., Лазарева Е.А.</i> Разработка дизайн-концепции инновационного завода по переработке топливно-энергетических отходов: экологический подход и современные вызовы.....	28
<i>Жмыхов Н.А., Исакова Е.В., Носиков С.С., Перушкин М.В.</i> Замкнутые напряженные механизмы в конструкциях технологических машин	32
<i>Zhmykhov N.A., Isakov V.S.</i> Reducing energy costs through the inertial traction and brake systems of technological machines.....	36
<i>Калинин К.А., Кулюкин М.В., Борисов К.А.</i> Методы переработки отходов бурения: от глинистых шламов до строительных компонентов	40
<i>Карельская Е.В., Хорохордина А.В.</i> Реинъекция отходов бурения в скважины	44
<i>Кондаков В.С.</i> Применение нейронных сетей для обработки неструктурированной информации	48
<i>Куценко А.С.</i> Анализ эффективности внедрения раздельного сбора мусора в РФ: сравнительное исследование пилотных проектов в различных городах	53
<i>Марченко В.Е., Передерий М.В., Страшной В.В.</i> Совершенствование процессов рециклинга промышленного предприятия, основанное на принципах логистики и инструментов бережливого производства.....	57
<i>Мельниченко В.В., Мельниченко Д.К.</i> Инъектирование деградационных многолетнемёрзлых грунтов метилотрофными средами	61

<i>Монастырский Д.И.</i> Экологическая и экономическая ценность применения отходов в дорожном строительстве.....	65
<i>Овчинников А.Н., Лукьянович Б.М., Украинский Д.А.</i> Технология рециклинга промышленных отходов термопластичного полиуретана в качестве активатора реакции полиамида-б.....	69
<i>Изварин А.И., Орловский П.О.</i> Исследование влияния оксида магния на физические свойства геополимерных материалов на основе золошлаковых отходов	74
<i>Ракульцева М.А.</i> Основные проблемы переработки отходов пластмасс и пути их решения.....	77
<i>Терехова Н.Д., Смолий В.А.</i> Исследование физико-химических свойств буровых шламов для синтеза функциональных материалов для дорожного строительства.....	79
<i>Черноусова П.А., Комиссарова М.А.</i> Метод анализа иерархий как инструмент поиска методики оценки рыночного потенциала предприятия ювелирной отрасли.....	84
<i>Передерий М.В., Яркина В.Е.</i> Оптимизация логистических процессов при организации рециклинга промышленных отходов	90
<i>Яхонова Д.В., Земченко Г.Н.</i> К вопросу о возможности использования отходов производства минеральных удобрений в очистке сточных вод	95
<i>Житников С.В.</i> Методы снижения выбросов оксидов азота при переработке отходов	99
<i>Тышлангян Ю.С., Лазарева Е.А.</i> Технологические аспекты производства стеклокристаллических материалов с применением техногенных продуктов топливной энергетики для объектов дизайна окружающей среды.....	104

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СИНТЕЗА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

<i>Korbova E.V., Lipkin M.S., Lipyavka M.V., Mandin Ph.</i> Mechanism of destruction of ruthenium oxide titanium anodes.....	109
<i>Korbova E.V., Lipkin M.S., Oruç V., Madhan K.</i> Resource-efficient tin-based electrode for lithium-ion batteries	114
<i>Ерошенко Н.С.</i> Электро- и теплопроводный материал электротехнического назначения на основе терморасширенного графита.....	118
<i>Новиков Ю.В., Момот В.А., Куприяновская В.А.</i> Исследование возможности получения шлакощелочных бетонов на основе сталеплавильного шлака	121
<i>Новиков Ю.В.</i> Исследование процессов синтеза стекловидных полифосфатов калия.....	125
<i>Гольцман Б.М., Пантелеева А.Е., Бостанов Ю.А.</i> Влияние добавок-плавней на спекание глинистых минералов	128

Фанда А.Ю., Трофимов С.В. Разработка методики определения антивандалных свойств эмалевых покрытий.....	132
Khramenkova A. V., Finaeva O.A., Izvarina D.N. Technology development for the production of coatings based on Co-Mn spinel using alternating assymmetrical current.....	137
Штанкевич А.В. Применение пространственно-стержневых конструкций в современном мире	140
Скибин Г.М., Заморов А.А. Альтернативный метод определения максимальной плотности грунта. Теоретическое изложение метода	143

СОВРЕМЕННОЕ ЦИФРОВОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Ефимов А.Д., Алибагандов А.О., Савченко Ю.И. Повышение экологической безопасности при организации и планировании автомобильных перевозок	146
Безуглов Д.В., Байдюк А.П., Филатов Р.С. Исследование факторов, влияющих на безопасность и производительность в специальной технической химии.....	150
Глазырин И.Е., Романенко И.В. О концепции информационной системы для мониторинга процесса выращивания на животноводческих хозяйствах	155
Грудинин С.О., Смирнова Н.В. Экспериментальные исследования работы топливного элемента в динамических режимах в условиях отравления катализатора монооксидом углерода	160
Ермолов А.А. Повышение качества обнаружения дефектов для задачи видеоскопического контроля стальных канатов	163
Ефимов С.Е., Сухенко Н.А. Применение автономных накопителей энергии в качестве основных источников питания манипуляторов на промышленном производстве	166
Изварина Д.Н., Грибанова А.С., Гончарова В.А. Исследование возможности использования гибридных материалов на основе полиэлектrolитных комплексов хитозана в качестве электрокатализаторов выделения водорода.....	169
Кременской П.В. Математическая формализация задачи оценки качества пластиковых изделий и предлагаемые алгоритмы её решения	173
Куций Д.Н., Тушканова О.С. Онлайн-компилятор как инструмент развития IT-компетенций.....	177
Миронова С.Н., Егоров Р.А., Белянкина Л.М. Развитие технологии электроконтактного уплотнения при производстве меднокарбидных композиций	180
Гринченков Д.В., Романенко И.В., Глазырин И.Е. Цифровые технологии для моделирования и анализа данных.....	184
Синецкая В.А. Программная реализация расчета тока перегруза в проводе воздушной линии электропередачи.....	189

Панфилов А.Н., Смык Н.О. Влияние виртуализации ресурсов на производительность и надежность высоконагруженных систем.....	193
Панфилов А.Н., Смык Н.О. Применение генетических алгоритмов для автоматического тестирования и оптимизации производительности программного обеспечения	198
Сторчак О.Р., Логанчук М.Л., Логанчук С.М. Проверка качества селективного монтажа с использованием технического зрения на основе технологий <i>National Instruments</i>	202
Тартанов К.В. Применение нейросетей в оценке стоимости финансовых рынков. Обзор и перспективы.....	206
Широков К.М., Шайхутдинов Д.В. Испытания электромагнитов в условиях использования новых материалов, миниатюризации и повышения энергоэффективности	209
Юдин А.В., Середин Б.М. Методика оценки технологической пригодности к <i>DLP-SLA 3D</i> -печати керамонаполненных УФ-отверждаемых полимерных композиций	214
Смыслов И.А. Источник дополнительной энергии на элементах «Пельтье» в солнечной панели	217
Колиев Н.В. Исследование влияния параметров на процесс дженирование хлопка-сырца	221
Недовесов А.В. Цифровизация здравоохранения: современное состояние и перспективы.....	224
Потехина Е.В. Разработка стратегий снижения рисков кибербезопасности в управлении проектами	229
Комиссаров В.Д. Анализ проблем внедрения цифровых двойников на предприятиях	234
Круглова Т.Н., Шмелев И.А., Шмелева Д.А. Повышение точности позиционирования сканирующего модуля на манипуляторе с применением технологии технического зрения.....	238
Буркунов Е.А. Практические возможности создания цифровых двойников в сфере высоких технологий развития городов и территорий на основе применения гидродинамических моделей.....	242
Бакаева Е.Р. Обоснование модели краткосрочного прогнозирования генерации активной мощности с помощью искусственных нейронных сетей...	247
Страшной В.В., Комиссарова М.А. Потенциал применения цифровых технологий в паспортизации и сборе данных для обслуживания тягового подвижного состава	250
Потехин А.М., Комиссарова М.А. Применение цифровых технологий в повышении надежности оборудования локомотивов.....	253

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕЦИКЛИНГА ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

УДК 666.189.32

МОДИФИЦИРОВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС КОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВЕ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ВАНАДИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА И СИНТЕЗИРОВАННЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ НА ИХ ОСНОВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

С.В. Варфоломеева, М.А. Бондаренко

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация. Предложено модифицировать керамические массы для производства стеновой керамики композитами на основе термической, в том числе плазменной переработки отходов, ванадиевого производства. Показано, что при термической обработке отходов ванадиевого производства образуются ванадаты марганца и оксиды марганца с различной степенью окисления. Полученными композитами рекомендовано модифицировать керамику и регулировать ее эксплуатационные и цветовые характеристики.

Ключевые слова: стеновая керамика, отходы ванадиевого производства, ванадат марганца

Качество керамических материалов, в частности стеновой керамики во многом определяется качеством глинистого сырья. Основным сырьем для производства стеновой керамики в Российской Федерации являются породы, которые представлены легкоплавкими красножгущимися глинами, диатомитами, суглинками, аргиллитами, трепелами, сланцами, и др [1].

Качество глинистого сырья характеризуется такими технологическими свойствами как химический и минералогический состав, дисперсность глинистой составляющей, гранулометрический состав, содержание крупнозернистых, в том числе, карбонатных включений, пластичность, усадка, степень спекаемости, прочностные характеристики после обжига [2].

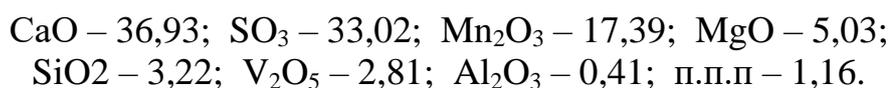
Однако к настоящему времени запасы высококачественного глинистого сырья истощились, а имеющиеся в регионах Российской Федерации местные источники сырья являются низкокачественными и характеризуются высокой запесоченностью, непостоянством химического и минералогического состава [3].

Это требует постоянного модифицирования керамических масс на отечественных предприятиях Российской Федерации путем введения добавок. Все корректирующие добавки, которыми модифицируют керамические

массы, можно условно разбить на шесть групп. Это пластифицирующая добавки, отощители, плавни, топливосодержащие добавки, добавки, уменьшающие влажность глинистого сырья и добавки, корректирующие цвет обожженных изделий, а также предотвращающие выцветы на их поверхности [4].

Одной из таких добавок может служить отход ванадиевого производства АО «ЕВРАЗ Ванадий Тула», которого в процессе получения ванадия по усредненным оценкам образуется около 60 тыс. т в год [5].

По данным РФА основной фазой в отходе ванадиевого производства является двуводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Второстепенными компонентами являются кальцит (CaCO_3), биксбиит (MnO_2) и гроутит ($\text{MnO}(\text{OH})$). Химический состав отходов ванадиевого производства включает (% по массе):



В настоящее время соединения марганца используются на отечественных предприятиях по производству стеновой керамики черных цветов. Черный цвет уверенно вошел в архитектурную моду при строительстве зданий и сооружений. Однако высокая стоимость красящих пигментов является основным сдерживающим фактором широкого применения стеновой керамики черного цвета. Так при объемном окрашивании керамическую массу модифицировали дорогостоящим марганецсодержащим красителем «*Manganeseoxide Mn₃O₄*» Color K/S компании *Kimpe* (Франция) [6].

Стеновая керамика темных оттенков существенно повышает архитектурно-художественные достоинства зданий и сооружений, привлекает к себе внимание и выделяется из общего облика архитектурной среды. Путем модифицирования керамических масс различными соединениями оксидов марганца и железа в соответствии с требованием международной системы соответствия цветов выделяют следующие оттенки черных цветов: черно-синий; черно-оливковый; черно-коричневый; черно-серый; графитово-черный и другие [7].

Наиболее предпочтительными хромофорами как с технологической, так и с экономической точки зрения для модифицирования керамических масс и их окрашивания являются железисто-марганцевая шпинель $\text{MnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, марганцевая шпинель (галаксит) $\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, железистая шпинель [8] $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.

Для проведения исследований по модифицированию керамических масс использовали колонито-гидрослюдистую глину Никифоровского месторождения (Белгородская область) и мусковитовую глину Гжельского месторождения (Московская область).

На первом этапе проводили модельные эксперименты по модифицированию керамических масс тетраоксидом марганца в количестве от 3,0 до 7,0 % по массе. Установлено, что стеновая керамика интенсивно окрашивается в темные цвета. Рентгенофазовый анализ показал, что в составе стеновой керамики обнаружены такие соединения, как якобит MnFe_2O_4 и

биксбиит $(\text{Mn}_3\text{Fe})_2\text{O}_3$. Данные хромофоры интенсивно окрашивали стеновую керамику в различные оттенки черных цветов. Отходы ванадиевого производства с содержанием оксида марганца до 17,39 % следует рассматривать как техногенное месторождение, которое может расширить сырьевую базу для объемного окрашивания стеновой керамики.

Целью работы является исследование влияния термической обработки на фазовый состав отходов ванадиевого производства с использованием как традиционных, так и альтернативных источников энергии, в частности – низкотемпературную плазму.

В задачи работы входило исследование влияние термически обработанного отхода ванадиевого производства на модифицирование керамических масс, и его влияние как на цветовые, так и на физико-механические характеристики стеновой керамики.

Отходы ванадиевого производства подвергали термической обработке при 200, 500, 600 и 700 °С, а также обрабатывали факелом плазмы с температурой 6000 °С. После термической обработки отходы подвергали рентгенофазовому анализу. Особое внимание было уделено превращениям соединений марганца. При 200 °С в составе отходов были идентифицированы: биксбиит – MnO_2 (1,65; 1,83; 2,70 Å), пиролюзит – Mn_2O_3 (2,40; 3,11 Å), гаусманит – MnMn_2O_4 (2,45; 2,73; 3,84 Å). При 500 и 600 °С были идентифицированы биксбиит – Mn_2O_3 и пиролюзит – MnO_2 . В районе 700 °С наблюдалось образование ванадата марганца $\text{Mn}_2\text{V}_2\text{O}_7$ (3,23 Å) и присутствие пиролюзита MnO_2 .

Плазменную обработку отхода ванадиевого производства проводили путем пропускания тонкодисперсного порошка через плазменную струю. Время контакта тонкодисперсных частиц отхода размером 20–30 мкм с плазменной струей с температурой 6000 °С составляло менее 1 с. В результате краткосрочного высокотемпературного воздействия в отходе образовывался ванадат марганца $\text{Mn}_2\text{V}_2\text{O}_7$.

После термической обработки в керамические массы на основе глин Никифоровского и Гжельского месторождений для окрашивания стеновой керамики добавляли продукты термической переработки отхода ванадиевого производства в количестве 5, 10, и 15 %.

В результате после обжига при 1050 °С с выдержкой при максимальной температуре – 2 часа была получена стеновая керамика от светло-серых оттенков (5 % отхода) до насыщенно черных оттенков (15 % отхода). Соединения марганца также способствовали повышению прочности на сжатие и изгиб, увеличению огневой усадки; повышению плотности и снижению водопоглощения. Полученная стеновая керамика удовлетворяла требованиям ГОСТ 540-2012.

Проведенные исследования позволили заключить, что после модифицирования керамических масс компонентами термически переработки отходов ванадиевого производства стеновая керамика не только окрашивается в различные оттенки черных цветов, но и обладает высокими физико-механическими свойствами. Так прочность стеновой керамики достигла М250.

Композиты на основе термической переработки отходов ванадиевого производства рекомендованы для модифицирования керамических масс и внедрению на предприятиях по выпуску стеновой керамики.

Доклад выполнен под руководством д.т.н., профессора В.С. Бессмертного.

Список источников

1. Августинник А.И. Керамика; 2-е изд. перераб. и доп. Ленинград: Стройиздат (Ленингр. отд-ние), 1975. 592 с.
2. Коммерческое товароведение: учебник / Под общ. ред. д.э.н., проф. В.И. Теплова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Изд.-торг. корпорация «Дашков и К°». 2009. 696 с.
3. Получение декоративной стеновой керамики из глинистого сырья и отходов добычи марганцевых руд / А.Ю. Столбоушкин, О.А. Фомина, Д.В. Акст и др. // Строительные материалы. 2016. №12. С. 38–40.
4. Оценка цвета лицевого кирпича методом UV-VIS-NIR-спектроскопии / В.И. Щикальцова, Ю.Т. Платов, В.А. Рассулов и др. // Строительные материалы. 2020. № 12. С. 16–20.
5. Возможность использования в технологии стеновой керамики отходов ванадиевого производства / В.С. Бессмертный, Н.М. Здоренко, А.В. Черкасов и др. // Стекло и керамика. 2022. Т. 95, № 7. С. 43–50.
6. Стеновая керамика на основе техногенных отходов промышленности (новые составы и технология обработки): монография / С.В. Семененко, В.С. Бессмертный, О.Н. Соколова. Воронеж: Научная книга, 2006. 128 с.
7. Павлов В.Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики. М.: Стройиздат, 1976. 240 с.
8. Масленникова Г.Н. Керамические пигменты; 2-4 изд. перераб. и доп. М.: ООО РИФ "СТРОЙМАТЕРИАЛЫ", 2009. 224 с.

© Варфоломеева С.В., Бондаренко М.А., 2024

РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ПЛАЗМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ГЛАЗУРОВАНИЯ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ КМА

С.В. Варфоломеева, М.А. Бондаренко

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация. Разработана плазменная ресурсо- и энергосберегающая технология глазурования стеновой керамики с использованием отходов обогащения КМА. Определены технологические параметры плазменного глазурования стеновой керамики. Исследованы эксплуатационные и эстетико-потребительские свойства глазурованной стеновой керамики.

Ключевые слова: отходы обогащения железистых кварцитов КМА, Плазменное глазурование, эксплуатационные и эстетико-потребительские свойства стеновой керамики

В современном жилищном строительстве огромное значение придается внешней отделке зданий и их архитектурной выразительности. Это во многом определяется качеством облицовочных материалов и их долговечностью. Из всего многообразия облицовочных материалов глазурованная керамика, в частности лицевой кирпич, занимает особое место в связи с высоким эстетико-потребительскими свойствами [1] Лицевой кирпич может характеризоваться широчайшей цветовой гаммой, от светлых тонов до насыщенного черного цвета. Научной школой профессора А.П. Зубехина разработаны научно-технологические основы отбеливания глин для получения лицевого кирпича светлых тонов [2]. Также следует отметить, что в настоящее время в жилищном строительстве особой популярностью и востребованностью пользуются стеновая керамика черных цветов [3]. Традиционные технологии глазурования стеновой керамики предусматривают ряд таких длительных во времени трудоемких операций, как приготовление лазурного шликера, нанесение суспензии на лицевые грани кирпича, сушку суспензии в сушильных камерах; термическая обработка лицевого кирпича в туннельных или щелевых печах.

Для получения глазури необходимо использовать дефицитные сырьевые материалы и пигменты.

В частности, для объемного окрашивания стеновой керамики в черные цвета используют дорогостоящий тетраоксид марганца, что удорожает себестоимость конечного продукта [4].

Разработанная энергосберегающая технология глазурования стеновой керамики предусматривает использование в качестве основного сырьевого материала отходы обогащения железистых кварцитов КМА следующего химического состава (% по массе):

$\text{SiO}_2 - 66,21$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 9,49$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 9,02$; $\text{FeO} - 5,46$; $\text{CaO} - 3,69$;
 $\text{MgO} - 4,09$; $\text{K}_2\text{O} - 0,71$; $\text{Na}_2\text{O} - 0,52$; $\text{SO}_3 - 0,16$; $\text{P}_2\text{O}_5 - 0,11$; п.п.п. – 5,19.

Отходы обогащения железистой кварцитов КМА характеризуются стабильностью химического и минералогического состава. Их можно использовать без предварительной переработки и подготовки для использования. Зерновой состав отходов в среднем лежит в пределах от 10 до 120 мкм, что позволяет производить плазменное напыление отхода на лицевую поверхность стеновой керамики.

Разработанная технология глазурования стеновой керамики является ресурсо- и энергосберегающей, так как позволяет не только экономить дефицитное сырье и материалы, но и существенно сократить технологический цикл глазурования.

Это в конечном итоге позволяет создать как на внутреннем, так и на внешних рынках конкурентоспособную продукцию.

Для плазменного глазурования использовали электродуговой плазмотрон с модифицированной плазменной горелкой ГН-5Р. Мощность работы плазмотрона составляет 32 кВт.

Плазмообразующим газом служил аргон марки А, расход которого составлял 3,5 м³/ч. Среднемассовая температура плазменного факела составляла 8000 К. Скорость прохождения плазменного факела по лицевой поверхности лежала в пределах от 10 до 12 мм/с. Перед плазменным глазурованием отходы КМА в сыпучем состоянии подавались в порошок питатель плазмотрона, а из питателя в плазменную горелку ГН-5Р. Лицевой кирпич устанавливали на пластинчатый конвейер.

Над пластинчатым конвейером устанавливали возвратно-поступательный механизм с закрепленной над ним плазменной горелкой ГН-5Р. В процессе глазурования стеновой керамики происходило одновременное оплавление лицевого слоя с напылением частиц расплава на основе отходов КМА. В результате на лицевой поверхности стеновой керамики образовывался высококачественный глазурный слой черного цвета с ровным разливом. Высокое содержание отходов железа обеспечивало покрытие насыщенным черным цветом. Толщина глазурного покрытия составляла 800–1000 мкм; термический коэффициент линейного расширения составлял $86 \cdot 10^{-7}$ град⁻¹; водостойкость – третий гидролитический класс (3/98); морозостойкость – 50 циклов замораживания-оттаивания.

Разработана ресурсо- и энергосберегающая технология глазурования стеновой керамики с использованием отходов обогащения железистых кварцитов КМА. Благодаря высокой эффективности технология рекомендуется к широкому промышленному внедрению.

Доклад выполнен под руководством д.т.н., профессора В.С. Бессмертного.

Список источников

1. Коммерческое товароведение: учебник / Под общ. Реж. д.э.н. проф. В.И. Теплова; 4-е изд., перераб. и доп. М. Изд.-торг. корпорация «Дашков и К°», 2009. 696 с.
2. Влияние фазового состава и структуры черепка на отбеливание керамики из красножгущихся глин / А.П. Зубехин, С.П. Голованова, В.С. Исаев и др. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2004.

3. Идентификация состава окрашенного синтетического гипса, получаемого в виде отходов при производстве ванадия / В. Бессмертный, Р. Платова, Ю. Платов и др. // Экология и промышленность России. 2023;27(5):28-33.

4. Оценка цвета лицевого кирпича методом UV-VIS-NIR-спектроскопии / В.И. Щикальцова, Ю.Т. Платов, В.А. Рассулов и др. // Строительные материалы. 2020. № 12. С. 16–20.

© Варфоломеева С.В., Бондаренко М.А., 2024

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВСПУЧЕННОГО ПЕРЛИТОВОГО ПЕСКА И ОТХОДОВ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Е.А. Вильбицкая, Н.А. Вильбицкая, С.А. Вильбицкий

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Проведены исследования сырьевых компонентов для производства теплоизоляционных материалов на основе вспученного перлитового песка и сульфитно-дрожжевой бражки.

Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, вспученный перлитовый песок, полусухое прессование, сульфитно-дрожжевая бражка, органические связующие

С каждым годом растет выпуск вспученного перлитового песка и изделий на его основе, которые отличаются хорошей тепло- и звукоизолирующей способностью. Основным направлением развития промышленности теплоизоляционных материалов стало значительное увеличение объемов производства таких индустриальных изделий, как конструктивно-теплоизоляционных бетонов, заполнителей штукатурных растворов, а также перлитопластобетонов и т.д. [1]

В теплоизоляционных массах применяют в качестве связующего вещества минерального и органического происхождения. Теплоизоляционные изделия, как правило отличаются большой объемной массой, высокими температурами термообработки и низким коэффициентом конструктивного качества [2]. Наилучшим комплексом свойств обладают изделия, где используются в качестве связующих высокомолекулярные соединения. Эти материалы сочетают в себе высокие теплозащитные свойства с хорошими прочностными и эксплуатационными характеристиками. Однако, применение синтетических смол в качестве связующего для вспученного перлитового песка сопряжено с рядом факторов, которые ограничивают более широкое применение этих материалов. Основными для них являются высокая стоимость. Также, в большинстве своем синтетические смолы токсичны.

В то же время существуют производства, органические отходы которых могут быть использованы в качестве связующего. Так, при производстве целлюлозы по сульфитному способу образуется чрезвычайно большое количество отходов, объединенных общим названием лигносульфаты. Они не подлежат сбросу в водоемы, так как при этом погибает флора и фауна. Утилизация данных вторичных продуктов и изготовление на их основе высокоэффективных негорючих теплоизоляционных материалов весьма перспективно.

В соответствии с проектом Стратегии развития строительной отрасли до 2030 г. ежегодный объем инвестиций в отрасль увеличится на 13,7 трлн. рублей, что почти в 2,5 раза выше показателя 2018 г., рост объемов работ

составит 11,2 трлн. рублей. Прогнозируется развитие таких сегментов как жилищное, транспортное, промышленное и социальное строительство, будут разработаны программы по сокращению аварийного и ветхого жилищного фонда страны, что потребует обеспечить выпуск эффективных и недорогих теплоизоляционных материалов.

Для их получения необходимо снизить плотность. Основным путем ее снижения – это применение связующих, обеспечивающих достаточную прочность изделий при сравнительно небольшом их расходе. В этом отношении представляет интерес получения теплоизоляционных перлитовых изделий с применением сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ).

Для решения поставленных задач были исследованы свойства исходных материалов, разработать составы сырьевых смесей и получить образцы материала в лабораторных и промышленных условиях, проведено определение физико-механических и физико-химических показателей получения образцов.

Вспученный перлитовый песок засыпали в лопастную мешалку, добавляли жидкие компоненты и перемешивали их в течение 5–10 минут. Сырьевую смесь помещали в металлическую форму, имеющую в сечении квадрат со стороной 50 мм, высотой 100 мм и запрессовывали с усилием 0,3–0,5 МПа на лабораторном прессе.

При исследовании физико-механических показателей учитывались требования ГОСТ 17177-94 «Материалы строительные теплоизоляционные. Методы испытаний».

Была определена плотность СДБ, которая составила от 1100 до 1200 кг/м³. Плотность лигносульфатов определяли с помощью ареометра, кроме этого была установлена и вязкость раствора, зависящая от концентрации растворенного или диспергированного вещества, так как молекулы растворенного вещества или частицы дисперсной фазы оказывают дополнительное сопротивление течению. Условная вязкость лигносульфатов зависит от плотности, что является весьма характерным явлением для растворов высокополимеров – с ростом концентрации растворов вязкость растет очень сильно благодаря сетки из молекул, при заданной плотности условная вязкость составила 206 с, что, несомненно, связано с количеством сухого вещества в растворе. С повышением температуры сушки содержание сухого вещества уменьшается и сухие остатки, полученные при температуре от 100 до 200 °С водорастворимы, а термообработка при 250 °С придает веществу водостойкость, сухой остаток не растворим в воде, что имеет решающее значение при отработке температурного режима получения теплоизоляционных изделий.

При встряхивании лигносульфаты образуют пену. Устойчивость ее измеряется временем существования определенного объема, зависит только от прочности пленок, разделяющих пузырьки газа. Прочность пленки в свою очередь зависит от содержания растворенного высокополимера, который в нашем случае является кальциевой солью лигносульфоновых кислот.

Результаты эксперимента по определению высоты пены и пеностойкости показали, что с увеличением плотности вещества растет пеностойкость, но, соответственно уменьшается высота столба пены. При плотности 1200 кг/м^3 лигносульфаты полностью утрачивают способность к пенообразованию, так как вязкость вещества резко возрастает, а, следовательно, увеличиваются силы межмолекулярного сцепления. Максимальная высота пены достигается при плотности СДБ 1080 кг/м^3 , а затем высота снижается с увеличением плотности.

В работе использовали вспученный перлитовый песок пород Арагацкого месторождения, который характеризуется малой объемной насыпной массой (ОНМ) – 50 кг/м^3 и большим содержанием мелких фракций (фракция размером менее $0,15 \text{ м} \times 10^{-3}$ – более 30 %, $0,6-0,35 \text{ м} \times 10^{-3}$ – менее 40 %), каждая из которых имеет свою объемную насыпную массу [3] и различия между минимальной и максимальной массой составляют более 50 % в зависимости от размера фракции, и, в итоге, объемная насыпная масса вспученного перлитового песка складывается из ОНМ отдельных фракций.

При разработке составов сырьевых смесей на основе вспученного перлитового песка и связующего учитывали, что использование полусухого способа формования изделий сокращает сроки сушки готовых изделий, повышает прочность, при этом сырьевая смесь должна иметь влажность менее 20 % по объему.

Экспериментальные данные подтвердили, что при прочих равных условиях концентрация и плотность раствора служит основным фактором, определяющим основные свойства материала. Наибольшей прочностью и лучшей водостойкостью обладают образцы, изготовленные на сульфитно-дрожжевой бражке большей плотности, однако применение СДБ большой плотности (1200 кг/м^3) затруднительно из-за высокой вязкости, что затрудняет перемешивание. Дальнейшее уменьшение плотности значительно снижает прочность образцов и повышает водопоглощение. Таким образом, установлено, что сульфитно-дрожжевая бражка может быть использована в качестве связующего для теплоизоляционных материалов, при этом оптимальная ее плотность в сырьевой смеси составляет 1120 кг/м^3 , что позволяет получать достаточно прочные и водостойкие образцы.

Нами был избран метод полусухого прессования образцов, также был проведен ряд экспериментов для уточнения оптимального соотношения компонентов сырьевой смеси. Дозировка компонентов проводилась в массовых частях, а неизменным оставалось количество вспученного перлитового песка – 100 массовых частей, а переменным было количество связующего. Установлено, что с увеличением связующего от 50 до 150 на 100 ВПП увеличивается объемная масса образцов, растет прочность, несколько снижается водопоглощение. Однако, при введении 150 частей СДБ весьма затруднено прессование. Сырьевая смесь налипает на стенки формы, при прессовании избыток жидкости вытекает. Снижение содержания СДБ в сырьевой смеси ниже 50 массовых частей приводит к

получению сухих, не формуемых смесей. В этой связи был выбран состав сырьевой смеси, содержащей 100 массовых частей перлита и от 50 до 150 массовых частей СДБ. Было определено, что оптимальное усилие при формовании изделий из полусухой массы проводилось с усилием 0,3–0,5 МПа с коэффициентом уплотнения 2,2.

Кроме этого, свойства образцов в значительной мере зависят от объемной насыпной массы вспученного перлитового песка, так, образцы объемной массой 90–115 кг/м³ обладают хорошими прочностными показателями и водостойкостью, в то время как мелкие фракции, объемная масса которых 50–75 кг/м³ практически не пригодны к использованию в разрабатываемых сырьевых смесях. Было установлено, что образцы приобретают водостойкость лишь при температуре термообработки 250 °С. Параллельно с определением температуры сушки определялось время, необходимое на прогрев образца, испарение влаги и образование водостойкого соединения СДБ. Для этого образцы выдерживали в термокамере при температуре 250 °С от 1 до 5 часов.

В целом можно сделать следующие выводы, что весьма перспективным является изготовление теплоизоляционных материалов на основе вспученного перлитового песка и сульфитно-дрожжевой бражки – отхода, получаемого в больших количествах. Разработана технология получения сравнительных легких и прочных изделий которые имеют эксплуатационные свойства, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 31309-2005 «Материалы строительные теплоизоляционные на основе минеральных волокон. Общие технические условия».

Список источников

1. Alekseeva L., Natsievskiy S. World experience of application of thermal insulation on the basis of expanded perlite // Kapitalnoe st-building. 2002. No 8. Pp. 42–46.
2. Gorlov Yu.P. Technology of heat-insulating materials // Textbook for universities - M.: Stroyizdat. 1980. 399 p.
3. Manturov Z.A. Heat-insulating material based on anhydrous sodium silicate compositions with perlite aggregate // Collection of scientific papers Sworld. 2013. Vol. 35. No 4. Pp. 32–35.
4. Alekseeva L.V. Prospects of production and application of expanded perlite as an aggregate for lightweight concrete // Building materials. 2006. No 6. Pp. 74–77.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДАЧИ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОДГОТОВЛЕННОГО ВОЗДУХА В ТРЕНАЖЕРАХ

Н.Ю. Глубшев, Н.А. Сухенко

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассмотрены особенности построения систем с подачей и регулированием воздуха, а также возможное решение.

Ключевые слова: автоматизация, тренажеры, воздух, управление, регулирование

Обучение необходимым навыкам работы на различной сложной техники, позволяет создавать тренажерные системы с элементами, имитирующими работу штатного оборудования. Такой подход позволяет снизить затраты на обучение, а также повысить экологическую безопасность, ввиду того, что элементы тренажеров возможно изготавливать из материалов, безвредных для окружающей среды. Сфера деятельности человека не ограничивается местами, с пригодными для жизнедеятельности условиями. Поэтому люди создают различные устройства, позволяющие работать человеку в местах, где ограничено количество воздуха или он полностью отсутствует, причем, с поддержанием давления близкого к атмосферному, например, под водой, как в подводных аппаратах, в специальном снаряжении, в самолётах на большой высоте и в космосе. Для получения навыков работы в таких условиях необходимо пройти специальную подготовку, настолько близкую к реальной обстановке, насколько это возможно, что обуславливает целесообразность создания специализированных тренажеров. Процесс обучения персонала требует необходимой подготовки и надлежащего контроля, что влечет за собой:

- проверку исправности и работоспособности оборудования и устройств;
- подготовку оборудования и персонала к предстоящей работе;
- настройку, задание и регулировку управляющих устройств.

Развитие современных технологий и оборудования позволяет в настоящее время автоматизировать процессы поддержания необходимых параметров и условий, реализуемых тренажерами, настолько, насколько это возможно.

При создании тренажеров, в которых имитируется температура, давление и расход воздуха для дыхания, важно поддержание этих параметров на требуемом уровне. Автоматическое регулирование параметров в заданных диапазонах является одной из функциональных особенностей тренажера, рассчитанного на подготовку сразу шести человек. Для обеспечения такого количества операторов подготовленным воздухом требуется мощная компрессорная установка, которой нужно обеспечить необходимый приток

и вытяжку воздуха, особенно, если помещение, в котором размещается оборудование имеет небольшие габариты или оно располагается снаружи помещения. В таком случае необходимо решать задачу регулирования температуры воздуха, используя либо нагреватели, либо кондиционеры. Дальнейшая подготовка воздуха обеспечивается наличием в контуре фильтров различной степени очистки и осушителей. Подготовленный воздух поступает по трубопроводам на узел с регулирующим оборудованием, где контролируется количество, температура и давление подаваемого воздуха. В качестве средства управления давлением были использованы точные регуляторы давления диапазон работы которых, около нулевого избыточного давления, и составляет от 0 до 1 атмосферы. Количество подаваемого воздуха, так контролируется за счет перепада давления на этих регуляторах, с учетом потерь по длине трубопровода и соединительных элементов, что позволяет компенсировать возможные допустимые утечки, во время проведения тренировки. Для реализации автоматического поддержания параметров, регуляторы имеют электронное управление, а качество управления обеспечивается вариантами настроек коэффициентов ПИД – регулятора (рис. 1).

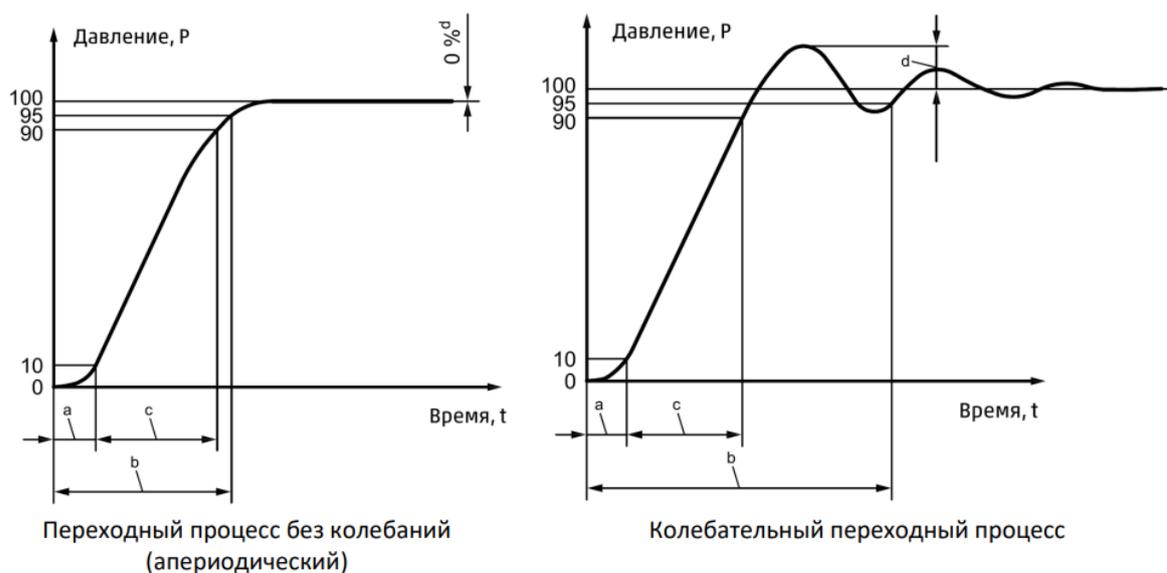


Рис. 1. Настройка ПИД-регулятора

На рис. 1 представлено: время a – время отклика – время от поступления сигнала управления до достижения регулируемой величиной 10 % от сигнала управления; время b – время регулирования – время от поступления сигнала управления до достижения регулируемой величиной 95 % от сигнала управления, то есть до вхождения регулируемой величины в трубку погрешности 5 % без дальнейшего выхода из нее; время c – время изменения регулируемой величины с 10 % до 90 % от сигнала управления.

Для обеспечения контроля, мониторинга и управления всех протекающих процессов используются отечественные система диспетчеризации (SCADA система) и программируемый логический контроллер, которые вместе позволяют оператору, настраивать, контролировать, задавать и управлять подачей воздуха в режиме реального времени, а также, используя

требуемые алгоритмы, изменять давление по определенному закону регулирования, что значительно сокращает время настройки и задания параметров для устройств управления и снижает возможность возникновения аварийных режимов в виде резкого перепада давления. Также, предлагаемая реализация управления параметрами подготовленного воздуха позволяет реализовать на тренажере различного рода нештатные ситуации.

Решения, которые были приняты для этой системы подачи воздуха, позволяют:

- контролировать процесс подготовки оборудования перед началом проведения тренировки на тренажере;
- контролировать количество подаваемого воздуха, давление и его температуру;
- в режиме реального времени отслеживать и управлять все протекающие процессы в ходе проведения тренировки.

Список источников

1. Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования; 2-е изд., перераб. и доп. К.: Вышшк. Головное изд, 1989. 431 с.
2. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М. Наука, 1976.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Л. Гос. из-во Техничко-Теоритической Литературы, 1950.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАДИЙ И ПАРАМЕТРОВ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ПРОПАНТОВ НА ОСНОВЕ БУРОВЫХ ОТХОДОВ

Д.А. Головки, В.А. Смолий, Ю.Р. Головки

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Описана технология синтеза алюмосиликатных пропантов на основе буровых отходов. Промышленные отходы представляют собой один из источников антропогенного воздействия на окружающую среду в глобальном масштабе, образуясь в процессе добычи угля и нефти как побочный продукт. С уменьшением запасов качественного природного сырья и накоплением техногенных продуктов становится актуальной проблема их использования.

Ключевые слова: пропанты, нефтедобыча, буровой шлам, способы утилизации, рецилинг, экологическая безопасность

Введение. Производственная деятельность предприятий нефтегазового комплекса приводит к техногенному воздействию на окружающую среду путем ее загрязнения. В процессе бурения и эксплуатации нефтегазовых скважин образуются буровые отходы, скапливающиеся в шламовых амбарах и являющиеся одной из причин загрязнения геосферы. В связи с этим рациональное использование минеральных ресурсов геосферных оболочек Земли, минимизация негативных воздействий и сохранение продуктивной природной среды является одной из основных задач технологов и геоэкологических исследований [1-3].

Материалы и методы. Разработана технология синтеза алюмосиликатных пропантов, в качестве сырьевых компонентов для которых используется не дорогостоящие природные материалы такие как: каолин, глинозем или бокситы, а вторичные отходы, полученные при бурении скважин. По химическому составу буровые отходы также относятся к алюмосиликатным материалам, что позволяет частично или полностью заменить природные сырьевые материалы. В соответствии с проведенными исследованиями выявлены следующие стадии ресурсосберегающей технологии, представленной на рис. 1.

Одной из стадий подготовки буровых шламов является их сушка, представляющая сложный диффузионный процесс, скорость которого определяется скоростью диффузии влаги из глубины высушиваемого материала. В связи с тем, что процесс сушки сопровождается подводом тепла, его можно назвать теплообменным.

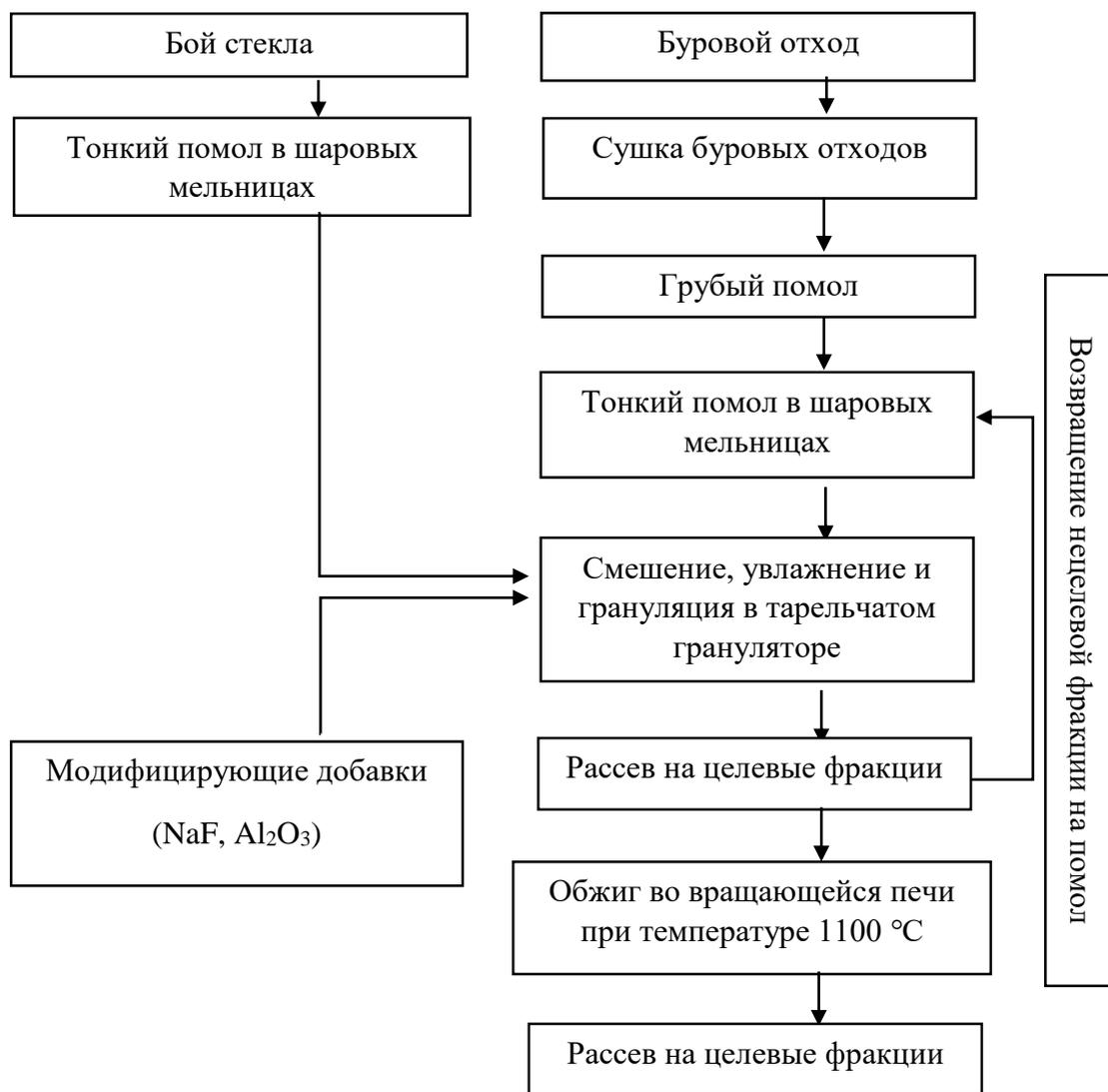


Рис. 1. Технологическая схема ресурсосберегающей технологии алюмосиликатных пропантов на основе буровых отходов

Сушка буровых шламов проводится при температуре 100–105 °С в течение 13–14 часов (в зависимости от изначальной влажности) до постоянной массы в сушильном шкафу марки ШС-30-300-1, представленном на рис. 2.



Рис. 2. Сушильный шкаф ШС-30-300-1

Традиционно измельчения подразделяют на: крупное (размер частиц 200–1000 мм), среднее и промежуточное (50–250 мм), мелкое (20–50 мм) и тонкое (3–0,25 мм).

Для тонкого помола использовали лабораторную шаровую мельницу МШЛ-1, представленную на рис. 3.

Шаровая мельница представляет собой барабан, вращающийся на двух валах, в который загружены куски размалываемого и мелющие тела.

Фракционный рассев буровых отходов. На данном этапе предварительно высушенный и измельченный буровой отход подается на вибрационные сита, которые при помощи вибратора совершают колебания в пределах 900–1500 колеб/мин при амплитуде 0,5–12,0 мм. При увеличении частоты колебаний отверстия в ситах практически не забиваются, так как происходит подбрасывание материала на сетке. Ударный ситовой анализатор представлен на рис. 4.

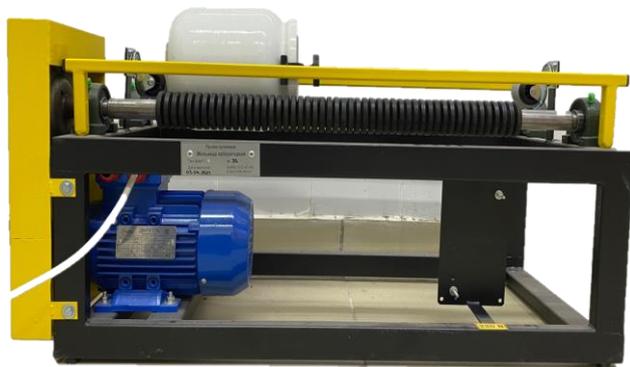


Рис. 3. Шаровая мельница МШЛ-1



Рис. 4. Ударный ситовой анализатор АС-200У

Подготовка стеклобоя. Лаборатории подготовка стеклобоя происходит следующим образом. Бой стекла марки БТ-1 (Белое тарное стекло) промывают под проточной водой, очищают от бумажных и металлических включений и подвергают сушке в сушильный шкаф ШС-30-300-1 до постоянной массы. Далее стеклобой дробят до размеров кусков 15–20 мм и загружают в шаровую мельницу МШЛ-1 для тонкого помола.

Измельченный стеклобой отправляется на просев в ударный ситовой анализатор АС-200У. На выходе из сита отбирается фракция до 0,25 мм, остальной материал отправляется на дополнительный помол.

Смешение сырьевых компонентов, согласно разработанному ранее сырьевому составу [5] (буровой отход – 80 %; стеклобой – 20 %; Al_2O_3 (сверх 100) – 5 %; NaF (сверх 100) – 4 %), осуществляется в тарельчатом грануляте ТЛ-020 представленном на рис. 5. Все компоненты в течение 5 минут тщательно перемешиваются в грануляторе при скорости 10 об/мин. Далее для формирования гранул в сырьевую смесь вводят воду в количестве 5–15 % от массы шихты. Формирование гранул проводились при разных ко-

личества оборотов то 20 до 50 об/мин. В зависимости от скорости вращения гранулятора и количества добавленной воды формируются гранулы разных фракций.

По истечению времени, содержимое чаши высыпают в ударный ситовой анализатор АС-200У и в течении 10 минут происходит рассев на целевые фракции. По окончанию рассева фракция, не соответствующая требованиям, отправляется на помол и повторную грануляцию.



Рис. 5. Тарельчатый гранулятор ТЛ-020



Рис. 6. Вращающаяся печь

Полученный полуфабрикат, соответствующий требованиям по гранулометрическому составу, обсыпают каолином во избежание слипания гранул и отправляют на обжиг в предварительно нагретую вращающуюся печь.

Обжиг алюмосиликатных пропантов проводили во вращающейся печи, разработанной по чертежам сотрудников ЮРГПУ (НПИ) представленной на рис. 6 в следующими порядке:

1. Угол наклона печи выставляли и варьировали от 2 до 4°.
2. Печь предварительно нагревали до 1100 °С.
3. Гранулы алюмосиликатных пропантов, предварительно обсыпанные каолином, загружали в бак печи.
4. Запускали шнек подачи в печь мощностью 15 об/мин.
5. Скорость вращения печи выставляли на 10 об/мин.

Продолжительность нахождения гранул за счет изменения угла наклона в печи варьировали от 10 до 20 мин.

После кратковременного охлаждения алюмосиликатные пропанты отправляются на финальный рассев на целевые фракции.

Свойства синтезированных алюмосиликатных пропантов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Свойства синтезированных пропантов

Рабочая фракция	Насыпная плотность кг/м	Сопротивление раздавливанию (% разрушения)	Растворимость в смеси кислот	Сферичность/округлость	Растворимость в соляной кислоте, %
12/20(96,2)	1740	20,2	2,6	0,8/0,9	0,4

Использование техногенных отходов по данной технологии позволяет снизить экологическую нагрузку и повысить эффективность нефтедобычи за счет вовлечения в хозяйственный оборот буровых шламов путем синтеза эффективных расклинивающих материалов на их основе соответствующих ГОСТ Р 51761-2013. Пропанты алюмосиликатные. Технические условия.

Список источников

1. Yatsenko E.A., Gol'tsman B.M., Smolii V.A., et al. Study on the possibility of applying organic compounds as pore-forming agents for the synthesis of foam glass // *Glass Physics and Chemistry*. 2019. Vol. 45, No 2. Pp. 138–142.
2. Yatsenko E.A., Smolii V.A., Kosarev A.S., Gol'tsman B.M. Foamed slag glass – eco-friendly insulating material based on slag waste // *15th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering, Rome, Italy, 10–15 June 2015*. Rome, 2015. Pp. 819–823.
3. Разработка метода повышения эксплуатационных свойств стеклоэмалевых покрытий для / А.В. Рябова, Т.А. Еськова, Н.С. Карандашева и др.// *Стекло и керамика*. 2014. № 9. С. 32–35.
4. Ryabova A. V., Es'kova T. A., Karandashova N. S., et al. Development of a method for improving the performance properties of glass-enamel coatings for steel // *Glass Ceram.* 2015. Vol. 71, Is. 9–10. Pp. 327–329.
5. Yatsenko E., Tretyak A., Chumakov A., Golovko D. Prospects for the use of drilling slurries for the synthesis of aluminosilicate propants // *Materials Today: Proceeding*. 2021. Vol. 38. Pp. 1886–1888.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

РАЗРАБОТКА ДИЗАЙН-КОНЦЕПЦИИ ИННОВАЦИОННОГО ЗАВОДА ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОТХОДОВ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД И СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ

А.С. Горочкун, Е.А. Лазарева

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассматривается влияние топливно-энергетической промышленности на экологию окружающей среды. Анализируются основные этапы развития отрасли, экологические проблемы и пути их решения путем внедрения современных технологий и экологических комплексов по переработке топливно-энергетической промышленности. Особое внимание уделяется интеграции заводов с городской инфраструктурой и парковыми комплексами, созданию зелёных зон для отдыха жителей и проведению образовательных мероприятий по повышению экологической культуры населения. Предлагается дизайн-концепция завода, которая сочетает в себе эстетическую привлекательность и функциональность.

Ключевые слова: экологичный дизайн, топливно-энергетическая промышленность, завод, экология, переработка отходов, энергоэффективность, альтернативные источники энергии, дизайн-концепция, городская инфраструктура, парковые зоны, функциональность, эстетика, инновации

Анализ влияния топливно-энергетической промышленности на экологию позволил установить, что в начале XX в. основными источниками энергии были уголь и нефть, которые сжигались для производства тепла и электричества. Однако эти процессы сопровождались выбросами вредных веществ в атмосферу, загрязнением воды и почвы, а также изменением климата.

В 1970-х гг. стало ясно, что стремительное развитие топливно-энергетического комплекса может вызвать серьёзные проблемы для экологии и здоровья людей. В результате были приняты международные соглашения и законы, направленные на снижение выбросов вредных веществ и повышение экологической безопасности. Одним из ключевых событий в сфере экологии стало подписание Киотского протокола в 1997 г. Этот документ обязал страны сократить выбросы парниковых газов, чтобы замедлить процесс глобального потепления. В последующие годы многие страны разработали национальные планы действий по снижению выбросов и переходу к возобновляемым источникам энергии [1].

Сегодня топливно-энергетическая промышленность продолжает развиваться, но с учётом экологических ограничений. Компании активно инвестируют в создание и распространение инноваций, нацеленных на сокращение выбросов и улучшение энергетической эффективности, имеющих важное значение для решения экологических проблем и устойчивого развития. Этот процесс включает использование новых источников энергии, таких как солнечная, ветровая и гидроэнергия, а также применение более экологических видов топлива, таких как природный газ и биотопливо [2].

Несмотря на экологический прогресс, топливно-энергетическая промышленность продолжает оказывать значительное воздействие на окружающую среду. Современный мир остро ощущает необходимость утилизации отходов, которые наносят вред окружающей среде и истощают ресурсы нашей планеты. Топливо-энергетическая отрасль является одним из основных источников отходов, включая отработанные масла, аккумуляторы, электронику и другие материалы. Переработка этих отходов не только снижает вредное воздействие на окружающую среду, но и открывает возможности для получения дополнительных ресурсов. Это становится особенно актуальным в свете растущего спроса на энергию и необходимости сохранения природных богатств [3].

Заводы и комплексы по переработке топливно-энергетических отходов должны использовать передовые технологии и оборудование, обеспечивающие высокую степень очистки и минимизацию выбросов вредных веществ. При проектировании завода необходимо использовать экологически чистые технологии, такие как пиролиз, плазменная газификация биомассы, для переработки отходов и получения альтернативных источников энергии. Применение биореакторов, электрохимических процессов и мембранной фильтрации позволит улучшить качество переработки и увеличить выход полезных ресурсов. Применение систем очистки и фильтрации сточных вод и газовых выбросов поможет предотвратить загрязнение водных объектов и атмосферы, а также сокращает количество отходов, подлежащих захоронению. Предприятия, оснащённые новейшим оборудованием, позволят качественно перерабатывать разнообразные отходы топливно-энергетического сектора, а также продемонстрируют высокую производительность и минимизируют потерю ресурсов [4].

Однако не менее важно учитывать эстетический аспект и гармоничное сочетание комплекса с городской инфраструктурой и парковой зоной. Экологичный дизайн должен быть современным и привлекательным, чтобы стать неотъемлемой частью городского пространства и способствовать улучшению экологической ситуации [5].

Исключительно важным является создание привлекательного внешнего вида завода, гармонирующего с окружающей средой. Внешний вид завода должен быть привлекательным и гармоничным с окружающей средой. Здание должно быть выполнено из экологически чистых материалов, таких как дерево, стекло и металлы. Фасад здания можно украсить зелёными насаждениями и элементами ландшафтного дизайна, что создаст ощущение гармонии с природой.

Парковая территория вокруг комплекса позволит создать зеленую зону для отдыха жителей, а также улучшить качество воздуха и микроклимат в городе. Кроме того, парковая зона может служить местом для проведения мероприятий и образовательных программ, направленных на повышение экологической культуры населения.

Важным аспектом дизайн-проекта является интеграция завода с местными сообществами – это включает в себя обучение персонала, проведение общественных мероприятий и сотрудничество с образовательными учреждениями для повышения осведомлённости о проблеме отходов и важности их переработки.

При разработке дизайн-проекта необходимо учитывать экономические аспекты, такие как стоимость оборудования, эксплуатационные расходы и доходы от продажи переработанных отходов. Важно найти оптимальное соотношение между затратами и эффективностью переработки, чтобы обеспечить долгосрочную устойчивость проекта.

Завод по переработке отходов должен быть спроектирован таким образом, чтобы обеспечить эффективное управление отходами. Это включает в себя разделение отходов на категории, организацию системы сбора и транспортировки, а также внедрение системы мониторинга и контроля качества переработки.

Учитывая аспекты описанные, выше предлагается дизайн-концепция завода (рис. 1), которая сочетает в себе эстетическую привлекательность и функциональность. Концепция предполагает использование инновационных технологий и современного оборудования для минимизации воздействия на окружающую среду, а также создание гармоничного и современного дизайна, который впишется в городскую инфраструктуру и будет способствовать улучшению экологической ситуации.



Рис. 1. Дизайн-концепция завода по переработке топливно-энергетической промышленности

В заключение следует отметить, что дизайн-проект завода по переработке отходов топливно-энергетической промышленности должен быть комплексным и учитывать все аспекты экологичности, функциональности и эстетики. Применение инновационных технологий, интеграция с местными

сообществами, учёт экономических аспектов и эффективное управление отходами позволят создать эффективный и устойчивый проект, который будет способствовать снижению негативного воздействия на окружающую среду и получению дополнительных ресурсов в области создания новых материалов на основе техногенных продуктов промышленности.

Доклад выполнен под руководством к.т.н., доцента, зав. кафедрой «Дизайн», Е.А. Лазаревой.

Список источников

1. Гайнуллина Л.Р., Тактамышева Р.Р. Экологические проблемы в топливно-энергетическом комплексе: учеб. пособие / Казанский гос. энергет. ун-т. 2020. С. 3–10.
2. Шавина Е.В., Прокофьев В.А., Возобновляемые источники энергии в портфеле проектов добывающих компаний // Геоэкономика энергетики. 2021. № 1. С. 67–87.
3. Пация С.А. Технологии на защите экологии / Национальная ассоциация ученых. Финансово-экономический факультет Финансовый Университет при Правительстве РФ, г. М.: 2020. С. 53–56.
4. Создание класса энерготехнологических комплексов, обеспечивающих эффективную переработку местных низкосортных топливных ресурсов и горючих отходов с получением востребованной продукции / В.Г. Лурий, Е.А. Крамарова, И.И. Мохначук и др. // Ежемесячный научно-технический и производственно-экономический журнал «Уголь». М.: 2017. С. 58–61.
5. Лазарева Е.А., Горочкун А.С., Лазарева Г.Ю. Инновационные дизайн-проекты современных предприятий // Инновационные материалы и технологии в дизайне: тез. докл. VI Всерос. науч.-практ. конф. с участием молодых ученых, г. Санкт-Петербург, 26, 27 марта 2020 г. / Санкт-Петербургский гос. ин-т кино и телевидения. СПб.: СПбГИК и Т, 2020. С. 124–125.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ЗАМКНУТЫЕ НАПРЯЖЕННЫЕ МЕХАНИЗМЫ В КОНСТРУКЦИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Н.А. Жмыхов, Е.В. Исакова, С.С. Носиков, М.В. Перушкин

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Приводятся анализ и классификация напряженных замкнутых кинематических механизмов, используемых в технологических машинах. В ней рассматриваются три основных вида замыкания: с предварительным постоянным нагружением, с предварительным переменным нагружением и с изменяемым в динамическом режиме нагружением контура. Статья также описывает различные варианты реализации этих видов замыкания на примере инерционных тягово-тормозных систем и устройств, компенсирующих прогиб пролетных балок мостовых кранов.

Ключевые слова: энергия торможения, силовое замыкание, динамическое нагружение, энергонакопитель, экскаватор

Разработкой и исследованием напряженных замкнутых кинематических механизмов для различных технологических машин занимались многие исследователи [1–3]. Формирование замкнутом кинематическом контуре постоянного или регулируемого в процессе работы напряжения обеспечивается наличием в их структуре дополнительной, замыкающей связи. Такую замыкающую связь, уменьшающую степень свободы механизма, но не снижающую его подвижности, предложено называть индифферентной [2].

Подробный анализ принципиальных и конструктивных схем машин и механизмов, использующих замкнутые кинематические контуры достаточно полно приведен в работах Н.С. Воробьева [1], К. Рота [4]. Классификация индифферентных механизмов с точки зрения их структуры рассмотрена в работах А.Н. Дровникова [2]. Для практического применения и создания принципиальных схем машин более целесообразной представляется классификация по характеру замыкания контура [3]:

- с предварительным постоянным нагружением контура, предполагающим геометрическое замыкание и статическое нагружение;
- с предварительным переменным нагружением контура, предполагающим силовое замыкание и динамическое нагружение;
- с изменяемым в динамическом режиме нагружением контура, предполагающим силовое или геометрическое замыкание.

В данной статье рассмотрены особенности использования различных видов замыкания кинематического контура на примерах, инерционных тягово-тормозных систем, и устройств, компенсирующих прогиб пролетных балок мостовых кранов.

Предварительное статическое нагружение замкнутых кинематических контуров получило широкое применение в машинах трения и испытательных стендах [3, 5]. Например, К. Кутцбах, Х. Рикли, А.Ф. Крайнев, Р.М. Брумберг, Д.П. Волков, К.Д. Шабанов, А.И. Соловьев, Ф.С. Зазян,

М.Г. Борисов, В.Н. Кудрявцев, В.Ф. Решиков, Н.Х. Атанасов, Н.А. Носов, В.Д. Галышев и др. В таких стендах мощность приводного двигателя, вращающего валы, затрачивается только на преодоление сил трения в кинематических парах, что позволяет обойтись без специальных нагрузочных тормозов и снизить расход энергии. Замыкающая зубчатая пара образует пассивную связь, которая не препятствует движению звеньев. В работах Р.М. Брумберга, В.Л. Вейца, И.А. Гидаспова, А.Е. Кочура, Г.В. Царева, Н.И. Колчина и др. решены задачи кинематики и динамики замкнутых кинематических цепей с предварительным натягом, применяемых для ограничения или устранения зазоров в зубчатых механизмах. В работах [6, 7] замкнутый контур с предварительным статическим напряжением способствует компенсации прогиба металлоконструкции пролетного строения мостового крана.

Предварительное переменное нагружение контура использовано Б.Г. Горбачевым, А.С. Банком, И.Г. Солодом, А.А. Быстровым, И.С. Пачиковым, В.С. Исаковым, А.В. Ерейским в конструкциях энергосберегающих инерционных тормозных устройств для различных машин: шахтных вагонеток, рудничного подъема, в прицепных технологических машинах и т.д. Ряд требований к исполнительным органам машин обуславливает особые характеристики конструктивных решений. Например, при формировании тормозного усилия в составе шахтных вагонеток необходимо обеспечить прижимное усилие тормозных колодок, пропорциональное сцепной массе. Как показали исследования [8], при выборе рациональных параметров силовых гидроцилиндров и других элементов, можно получить такой результат, используя связь между «подвижной сцепкой – вагонеткой – рельсом – локомотивом». Благодаря такому контуру усилие в исполнительных гидроцилиндрах пропорционально нагрузке, т.е. массе вагонетки. Рациональное перераспределение и потребление кинетической энергии, накопленной при движении, позволяет сократить расход электроэнергии на торможение, а также минимизировать выбросы тепла в атмосферу.

При дальнейших исследованиях установлено, что более рациональным является накапливание энергии торможения в промежуточном накопителе и использование не только для торможения, но и для реализации рабочих движений машины. Т.е. системы с изменяемым в динамическом режиме нагружением замкнутого контура, предполагающим силовое или геометрическое замыкание. В работах Г.М. Водяника, А.Н. Дровникова, А.И. Бутова, Н.П. Ремарчука, А.П. Холодова, Л.А. Хмара, В.С. Исакова, А.В. Ерейского были предложены конструктивные решения с гидропневматическими, пружинными, маховичными и химическими энергонакопителями. Особенности использования маховичных накопителей рассмотрены в работах Н.В. Гулиа, Р.Р. Двали и И.В. Матикашвили.

Разработка и внедрение новых накопителей и устройств для равномерного накапливания и расходования энергии является перспективным направлением для повышения энергоэффективности и уменьшения влияния

транспортно-технологических машин на окружающую среду. Так, разработанный авторами статьи [9] адаптивный накопитель энергии, состоящий из нескольких гидропневмоаккумуляторов, обеспечивает плавную остановку (и пуск) прицепного катка с гладкими валками в соответствии с установленными технологическими требованиями. Аналогичная ситуация возникает при торможении поворотной платформы экскаватора [10], где объем и масса ковша, скорость движения и угол поворота под разгрузку также могут варьироваться. Исследования показали, что ИТТС для поворотной платформы экскаватора обеспечивает обратное перемещение порожнего ковша в забой на 85–94 %. Достижение предельного давления в гидроаккумуляторе происходит при повороте заполненного ковша экскаватора под разгрузку на 90°.

Изменяемое в динамическом режиме нагружение контура может быть эффективно использовано и при компенсации прогиба металлоконструкции пролетного строения мостового крана. Предложенные [7] схемы устройств с переменным напряжением металлоконструкции моста, позволяют учитывать место приложения основной нагрузки и величину груза. Рассматривая возможности применения различных управляющих систем и приводов, можно получить множество вариантов конструктивных схем, имеющих свои отличительные признаки и параметры. При этом, в литературе не описаны обобщенные методики построения и выбора механизмов разгрузки металлоконструкций мостовых кранов, не определены границы оптимального напряжения и т.д. В этой связи, систематизация и обобщение структурных схем подобных устройств и разработка общей методики их проектирования и оптимизации параметров является актуальной и практически важной задачей.

Регулирование величины нагрузки производится за счет наличия стержней, гидроцилиндров и других устройств, связанных с позиционированием груза и его массой. Таким образом, напряжение замкнутого контура снижается при перемещении грузовой тележки от центра к опорам, изменяя прогиб балки, а при подъеме (опускании) груза при правильном выборе параметров компенсировать его колебания.

Таким образом, используя предложенную классификацию можно составить обобщенную структурную модель устройств с изменяемым в динамическом режиме нагружением контура, предполагающим силовое или геометрическое замыкание, разработать методики расчета для конкретных технических объектов, в частности для строительных и грузоподъемных машин.

Список источников

1. Воробьев Н.С. Механизмы с замкнутым энергетическим потоком. Львов: Вища школа, изд-во при Львовском университете, 1983. 144 с.
2. Дровников А.Н. Индифферентные структуры механизмов и машин. Ростов н/Д.: изд-во «Пегас», 1999. 108 с.
3. Дровников А.Н., Исаков В.С. Механизмы строительных и подъемно-транспортных машин с использованием напряженных замкнутых контуров Ростов н/Д.: изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2006. 156 с.
4. Roth K. Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1982.

5. Исаков В.С. Инерционные тормозные устройства на основе замкнутых кинематических контуров. Ростов-на-Дону: изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2005. 140 с.
6. Шмелев А.М., Макаренко В.В. Способ снижения нагруженности балочных металлоконструкций машин: тр. междунар. науч.-техн. конф. «Интерстроймех–2001» г.СПб/ Изд-во СПбГТУ, 2001. С. 80–84.
7. Исаков В.С., Тигранян М.Г. О синтезе механизмов разгрузки металлоконструкций мостовых кранов / Инновации в науке-инновации в образовании: материалы по итогам Междунар. науч.-техн. конф. «Интерстроймех–2013». Новочеркасск: Юж.-Рос. гос.политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. 2013. С. 11–12.
8. Исаков В.С. О построении тормозных устройств на основе замкнутых кинематических контуров / Новые технологии управления движением технических объектов: сб. ст. по материалам 5-й Междунар. науч.-техн. конф. Ростов н/Д.: СКНЦВШ, 2002. Вып. 3, ч.2. С. 83–92.
9. Жмыхов Н.А., Исаков В.С. Тормозное устройство транспортного средства / Пат. №2796377 по заявке №2022135378 от 30.12.2022 Оpub. 22.05.2023. Бюл. №15.
10. Исаков В.С., Максимов Ю.В. Структурная адаптация кинематического механизма рабочего органа экскаватора с канатной подвеской / Результаты исследований – 2010: материалы 59-й науч.-техн. конф. ЮРГТУ(НПИ) / Юж. Рос.гос.тех. ун-т (НПИ) Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2010. С. 32–33.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

REDUCING ENERGY COSTS THROUGH THE INERTIAL TRACTION AND BRAKE SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL MACHINES

N.A. Zhmykhov, V.S. Isakov

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

Abstract. The research analysis in the field of creating inertial traction and braking systems shows that the rational redistribution and consumption of the kinetic energy of a transport-technological machine and its working parts accumulated during braking makes it possible to reduce fuel and electricity consumption and the volume of harmful heat emissions into the atmosphere. However, the use of such systems is limited by the complexity of the designs, technological requirements of the processes being implemented, and the shortcomings of existing energy storage devices. The authors propose an adaptive storage device that includes several hydropneumatic accumulators, providing a smooth stop (start) of a trailed roller with smooth rollers in accordance with established technological requirements.

Key words: inertial traction and braking system, recuperation, adaptive mechanisms, kinetic energy, energy storage

Rational redistribution and consumption of the kinetic energy accumulated during braking of a transport and technological machine and its working parts makes it possible to reduce fuel and electricity consumption and the volume of harmful heat emissions into the atmosphere.

The essence of inertial traction and braking systems used is as follows. Acceleration of the machine or its executive body is carried out by the engine in normal operation. When braking, kinetic energy is not converted into thermal energy, as it happens in friction brakes, but it is transferred to the accumulator. Thus, braking is carried out due to the redistribution of the kinetic energy of the machine into the kinetic energy of the flywheel, the potential energy of the spring, hydraulic accumulator, electric accumulator, etc. The accumulated energy can be used when starting the machine or implementing the movements of its executive bodies.

Similar systems started to be used in the 19th century, when in the process of braking a horse-drawn carriage, kinetic energy, using a screw transmission, raised the carriage relative to the rails, and when starting, the accumulated potential energy was used to drive the wheels, making it easier for the horses to work when moving the carriage away. Since the 20th century inertial traction and braking systems have found application in automobile and locomotive transport, in construction, transportation and lifting machines operating in cyclic modes and with large masses and (or) speeds. However, despite the obvious advantages, inertial traction-braking systems have not found widespread use for a number of reasons: the complexity of energy transfer systems to the storage device, and, consequently, increase in the cost of machine; the need to redistribute energy in short time intervals, which cannot be realized by some types of storage devices; the emergence of closed kinematic contours in mechanical systems, the use of variable structure mechanisms, that makes their calculation more difficult; lack of regulated technical conditions and calculation methods, that complicates their design

and implementation at potentially hazardous objects. The equipment and production technologies development, the rising cost of fuel and energy resources and strengthening environmental requirements create objective prerequisites for the creation and implementation of new energy-saving traction and braking systems for technological machines in various industries.

Some of the first research in the field of the kinetic energy beneficial use for braking the vehicle itself was carried out by B.G. Gorbachev, A.S. Bank, I.G. Solod, A.A. Bystrov, I.S. Pachikov [1,2]. In the designs they examined, the inertial force of the towed part of the machine was used to brake it. However, when braking, all the energy was absorbed by the friction brakes, releasing heat. In their works G.M.Vodyanik, A.N.Drovnikov, A.I.Butov, N.P.Remarchuk, A.P.Kholodov, L.A.Khmar [3,4] considered a number of design solutions with energy storage systems were and its further use in the implementation of the technological process. Peculiarities of the flywheel drives use are discussed in sufficient detail in the works of N.V. Gulia, R.R. Dvali, I.V. Matikashvili [5,6]. Further V.S. Isakov and A.V. Yereisky [7,8] systematically reviewed construction, lifting and mining machines with braking energy storage in hydraulic pneumatic accumulators and flywheels. These works also formulate the basic requirements for storage devices of any physical nature and give their classification.

As studies have shown, a number of technological requirements for the executive bodies of machines determine the special characteristics of storage devices. For example, when braking a trailed roller with smooth rollers working at the asphalt concrete compaction, the braking speed during reverse is limited, which causes a long charging time for the accumulator. Taking into account the significant mass of the trailed roller, different initial speeds during braking, the number of passes and variable movement resistance, the amount of kinetic energy transferred to the drive can be different. When braking and storing energy during the movement of the excavator turntable [9], the volume and mass of the bucket, the speed of movement and the angle of rotation for unloading can also be different. In this regard, you can consider the possibility of using an adaptive drive, which, depending on the system parameters, is capable of independently changing its parameters to adapt to operating conditions.

In the general case, a technological machine includes a base unit with a drive, a tandem-articulated technological unit - an executive body, an inertial traction-braking system with an energy storage device. The connection between the base and the technological units is carried out through a connecting device capable of transferring accumulated kinetic energy to the storage device, due to which braking occurs. When energy is returned to the process or host unit, the same connection device or a different path is used. In general, the energy accumulated in an electric battery can be used for any purpose.

As the results of the study showed, the inertial hydromechanical traction and braking device for the rotary platform of an excavator [9] ensures the return movement of the empty bucket into the face by 85–94 %. An increase in pressure in the hydraulic accumulator to the maximum value is achieved when the filled

excavator bucket is rotated for unloading by 90°. In the case of a larger rotation angle or an empty bucket, the efficiency of the system decreases.

The braking energy of a trailed roller is accumulated in a similar way. If there is one hydraulic accumulator, its calculation is made according to the limiting case: maximum mass and speed, as well as minimum movement resistance. In this regard, the development task was to create a multi-stage adaptive hydraulic accumulator capable of smoothly and automatically turning on additional sections (hydraulic accumulators) depending on the above parameters.

The device is equipped with a special hydraulic cylinder, divided into six sections, two for each of the three hydraulic accumulators. The location of the outlet holes ensures that initially one hydraulic accumulator is charged. The rest are closed by special valves due to the presence of pressure in the first section. With further movement of the hydraulic cylinder piston, the first section is connected to the drain tank, the pressure drops, a special valve opens the second hydraulic accumulator and simultaneously closes the first. The action of the subsequent sections is similar. This design is protected by a patent. The sequential adaptive activation of hydraulic accumulators allows you to either interrupt the process at low speed and increased resistance to movement, or extend it at high speeds and low resistance to movement. In all cases, the pressure in the traction-brake system and the deceleration (braking) of the roller remains constant. Activating the system in traction mode also ensures a smooth ride.

Thus, preliminary research in the field of energy-storage braking confirms the prospects of its use in the executive bodies of various machines that have a significant mass and speed of technological processes. Using the energy accumulated during braking for useful operation of other units makes it possible to reduce the fuel and electricity consumption and reduce the release of heat into the atmosphere, that also improves the environmental situation.

References

1. Gorbachev B.G., Bank A.S., Solod G.I., Shorin V.G. Inertia brake for mine trolleys. – Mining transport. Scientific works of MSI. M.: Ugletekhizdat, 1958. Pp. 248–258.
2. Pachikov I.S., Ostapenko V.A., Gasyukov V.S. Brake for mine trolleys, powered by the compression force of coupling devices / Coal of the Ukraine, Kyiv, 1976. No. 9.
3. Vodyanik G.M., Rylev E.V., Drovnikov A.N. On the issue of creating a drilling machine with a drive with two degrees of freedom for directional drilling of wells / Abstracts of reports at the meeting of the central commission to combat silicosis. M., 1969. Pp. 17–18.
4. Isakov V.S. On the construction of braking devices based on closed kinematic contours // New technologies for controlling the movement of technical objects. Vol. 3// Collection of articles based on the materials of the 5th International Scientific and Technical Conference. Part 2 – Published by the Northern Caucasus Scientific Center of High School, Novocherkassk - Rostov-on-Don, 2002. Pp. 83–92.
5. Genta J. Accumulation of kinetic energy / Trans. from English Ed. G.G. Portnova. M.: Mir, 1988. 430 p.
6. Atoyán K.M., Gulia N.V., Gvelesiani L.L., Nagornyyak G.A. Use of energy extinguished in the brakes. // Automobile transport, 1971. No. 7.
7. Isakov V.S., Ereysky A.V. On the concept of energy-storage brake systems development for hoisting and transport, mining and construction machines // News of higher educational institutions. North Caucasus region. Technical science. 2018. No. 1. Pp. 91–95.

8. Isakov V.S., Ereysky A.V. Increasing the efficiency of using energy-saving technologies in the braking processes of hoisting and transport, construction and mining machines // News of higher educational institutions. North Caucasus region. Technical science. 2018. No. 3. Pp. 80–88.

9. Vodyanik G.M., Isakov V.S. Mathematical modeling of energy-saving and energy-storing braking systems based on closed kinematic contours // Izvestia Vuzov. Electromechanics. 2006.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ: ОТ ГЛИНИСТЫХ ШЛАМОВ ДО СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ

К.А. Калинин, М.В. Кулюкин, К.А. Борисов

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассмотрено применение шламов для производства легких бетонов, керамических изделий, дорожных покрытий и пропантов.

Ключевые слова: бурение, глинистые шламы, переработка, ресурсная эффективность, устойчивое развитие, пропант

Введение. Бурение нефтяных и газовых скважин в России сопровождается образованием значительных объемов отходов, в том числе глинистых шламов. Актуальность решения вопроса обусловлена рядом проблем, среди которых:

- накопление глинистых шламов на местах бурения приводящее к загрязнению почвы, водных ресурсов и окружающей среды в целом;
- значительные финансовые затрат на транспортировку к полигонам, их обустройство и эксплуатацию, а также на утилизацию шламов;
- переработка шламов в материалы для вторичного использования позволяет сократить потребление природных ресурсов, таких как песок и цемент, используемых в строительстве.
- строгие экологические нормы и требования к утилизации отходов бурения, невыполнение которых может привести к штрафам и судебным разбирательствам.

Масштабы ежегодного производства глинистых шламов при бурении нефтяных и газовых скважин весьма значительны. В зависимости от геологических условий и технологии бурения, объемы образующихся шламов могут варьироваться от нескольких сотен до нескольких тысяч кубических метров в год на одну скважину.

Согласно данным Минэнерго России [1], в 2020 г. в России было пробурено около 1800 новых нефтяных и газовых скважин. Учитывая средний объем образующихся глинистых шламов на одну скважину (примерно 1000–2000 куб.м), можно оценить, что ежегодно в России образуется около 1,8–3,6 млн куб.м глинистых шламов.

В мировом масштабе производства глинистых шламов при бурении нефтяных и газовых скважин также весьма значительны. Согласно исследованию компании *Global Market Insights, Inc.* [2], в 2021 г. мировое производство глинистых шламов составило около 40 млн т. Прогнозируется, что к 2026 г. объемы производства глинистых шламов достигнут 50 млн т в год.

Такие масштабы производства глинистых шламов при бурении нефтяных и газовых скважин требуют эффективных и экологически безопасных методов утилизации и переработки этих отходов. Использование глинистых шламов в строительстве и других отраслях промышленности может существенно снизить объемы отходов и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Традиционные методы утилизации этих отходов, такие как захоронение, не только занимают большие территории, но и могут приводить к экологическим проблемам. В связи с этим, актуальным становится поиск инновационных подходов по переработке глинистых шламов в ценные материалы. В данной статье рассматриваются современные технологии, позволяющие преобразовывать глинистые шламы в строительные компоненты, что способствует реализации концепции *Zero Waste* и устойчивому развитию нефтегазовой отрасли с примерами из практики на территории Российской Федерации.

Производство легких бетонов. Одним из перспективных направлений является использование глинистых шламов в качестве заменителя песка или цемента при производстве легких бетонов. Глинистые частицы способствуют формированию структуры бетона, улучшая его прочностные и теплоизоляционные характеристики. Исследования показывают, что включение до 30 % глинистых шламов в состав бетона не снижает его качество, а в некоторых случаях даже улучшает. В 2019 г. в России был запущен завод по переработке глинистых шламов в легкие бетонные блоки в городе Краснодаре. ООО РН-Краснодарнефтегаз приступило к эксплуатации мобильной установки по переработке нефтешламов на месторождении Зыбза-Глубокий Яр. За год эксплуатации планируется переработать около 5,5 тыс. куб.м шлама и получить из него порядка 1,5 тыс. т нефти. Ранее использование мобильной установки на Ново-Дмитриевском месторождении внесло существенный вклад в ликвидацию шламов, накопленных предыдущими недропользователями – так называемого «исторического наследия». С помощью установки было переработано более 6 тыс. куб.м нефтешламов и сепарировано около 2 тыс. т нефти, сообщает пресс-служба Роснефти. Установка работает на основе трехфазной центрифуги, разделяющей нефтешламы на составные компоненты – нефть, воду и механические примеси. Это дает возможность уменьшить концентрацию нефпродукта в шламах, подлежащих утилизации, получить дополнительные объемы нефти. Установка может применяться также при очистке резервуаров и технологического оборудования. [3].

Изготовление керамических изделий. Глинистые шламы, образующиеся при бурении нефтяных и газовых скважин, могут быть эффективно использованы в качестве основного сырья для производства различных керамических изделий, таких как кирпич, плитка, изразцы, санитарная керамика и декоративные элементы.

Глинистые шламы содержат органические примеси, которые могут негативно повлиять на качество конечного продукта. Для их удаления используются различные методы, такие как фильтрация, центрифугирование или термическая обработка. Для достижения оптимального состава используются добавки, такие как песок, известь или флюсующие добавки, которые позволяют регулировать показатели пластичности, прочности и термической стабильности глины.

После предварительной обработки глинистые шламы используются для формования керамических изделий. Затем изделия подвергаются обжигу при высоких температурах, что позволяет получить прочные и долговечные керамические изделия.

Использование глинистых шламов в керамической промышленности позволяет сократить затраты на покупку дополнительного сырья для производства керамических изделий, способствует снижению экологического воздействия от нефтегазовой промышленности и позволяет сократить потребление природных ресурсов, таких как песок и глина, что способствует устойчивому развитию и экономии ресурсов.

Исследования и практические примеры показывают, что использование глинистых шламов в керамической промышленности является эффективным и экологически безопасным способом утилизации отходов бурения нефтяных и газовых скважин [4].

Применение в дорожном строительстве. Глинистые шламы, образующиеся при бурении нефтяных и газовых скважин, могут быть эффективно использованы в дорожном строительстве. Они могут служить как добавки в асфальтобетонные смеси, что позволяет улучшить свойства дорожных покрытий и снизить затраты на строительство.

В 2018 г. в России был проведен эксперимент по использованию глинистых шламов в асфальтобетонных смесях для строительства дорог в городе Санкт-Петербурге. Исследования показали, что включение глинистых шламов в асфальтобетонные смеси улучшает их устойчивость к износу, воздействию погодных условий и повышает прочность дорожного покрытия.

В дорожном строительстве применение шламов способствуют улучшению адгезии между минеральными компонентами и связующим материалом, что повышает прочность и долговечность дорожного покрытия.

Однако, для успешного использования глинистых шламов в дорожном строительстве необходимо проведение дополнительных исследований и разработка стандартов качества для полученных материалов.

Изготовление алюмосиликатных пропантов. Глинистые шламы образующиеся в процессе бурения могут быть использованы и для нужд самого бурения. В последние годы доля трудноизвлекаемых запасов возрастает, по этой причине количество скважин подлежащих интенсификации притока посредством гидравлического разрыва пласта возрастает, при этом ключевым компонентом данного процесса является пропант. Изготовления пропанта из ранее выбуренной породы наиболее полно отражает принцип

Zero Waste, так как изначальные отходы бурения с помощью технологии обработки бурового раствора постоянным магнитным полем позволяют облегчить отделение бурового шлама на поверхность и применять его в производстве пропанта [5]. Её внедрение позволит сократить экологическое воздействие буровых компаний, а также снизить затраты на обращение с отходами.

Заключение. Переработка глинистых шламов не только способствует решению проблемы утилизации отходов нефтегазовой промышленности в России, но и открывает новые перспективы для развития строительной отрасли.

Однако, для успешной реализации этих технологий необходимо проведение дополнительных исследований и разработка стандартов качества для полученных материалов. Также важным аспектом является создание инфраструктуры для сбора, транспортировки и переработки глинистых шламов, а также обучение персонала необходимым навыкам и знаниям.

В целом, инновационные методы переработки глинистых шламов в ценные материалы имеют большой потенциал для реализации концепции *Zero Waste* в нефтегазовой отрасли России. Это позволит не только снизить негативное воздействие на окружающую среду, но и создать новые экономические возможности для развития устойчивой экономики.

Список источников

1. Министерство энергетики Российской Федерации. Отчет о деятельности в нефтегазовой отрасли. 2020. [Электронный ресурс]: <https://minenergo.gov.ru/> (Дата обращения: [12.05.2024]).

2. Global Market Insights, Inc. Oil & Gas Drilling Fluids Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Water-Based, Oil-Based, Synthetic-Based), By Application (Onshore, Offshore), By Region, And Segment Forecasts, 2021 - 2028. [Электронный ресурс]: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/oil-gas-drilling-fluids-market> (Дата обращения: [12.05.2024]).

3. Роснефть. Отчет о деятельности ПАО "Роснефть" за 2018 год. 2019. [Электронный ресурс]: <https://www.rosneft.ru/press/subsidiaries/item/185657/?ysclid=lwj813hsbw181075044> [Дата обращения: 17.05.2024].

4. Строительная керамика с применением нефтяных шламов: монография / В.А. Гурьева, Н.В. Бутримова. Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2019. 159 с. [Электронный ресурс]: http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/12442/1/94196_20190515.pdf?ysclid=lwj8dcredr724929041 [Дата обращения: 19.05.2024].

5. Технология очистки и рециклинга бурового раствора / А.А. Третьяк, Е.А. Яценко, К.А. Борисов и др. // Изв. Томского политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 2. С. 62–70. DOI 10.18799/24131830/2022/2/3560.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

РЕИНЪЕКЦИЯ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ В СКВАЖИНЫ

Е.В. Карельская, А.В. Хороходина

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассматривается утилизация буровых отходов нефтегазовой отрасли без ущерба для окружающей среды.

Ключевые слова: буровой шлам, реинъекция в скважины, утилизация шлама, технология обратной закачки, экологическая безопасность

Переработка буровых отходов – это процесс, важный не только с экологической точки зрения, но и с технологической. Рассмотрим несколько инновационных методов и технологий, используемых для эффективной обработки буровых отходов [1].

Существует несколько технологий повторного использования буровых отходов, которые могут быть применены для уменьшения вреда для окружающей среды и экономии ресурсов. Некоторые из таких технологий включают:

1. Рециклинг буровых отходов: буровые отходы могут быть переработаны и использованы для производства новых материалов или коммерческих продуктов, таких как кирпичи, асфальт или цемент [2].

2. Подземное внедрение: буровые отходы могут быть закопаны в подземные разрезы или подземные скважины, где они не будут наносить ущерб окружающей среде.

3. Использование для строительства дорог: буровые отходы могут быть использованы в качестве агрегата для строительства дорог и других инфраструктурных объектов.

4. Обработка и утилизация: буровые отходы могут быть обработаны с использованием специальных технологий для уменьшения их вредных воздействий на окружающую среду, а затем утилизированы безопасным образом [3].

5. Реинъекция в скважины: буровые отходы могут быть реинжектированы в скважины с целью уменьшения давления и увеличения добычи нефти или газа.

Технология обратной закачки состоит из нескольких взаимосвязанных процессов. Полный цикл при проведении процесса включает в себя следующие основные этапы, описанные ниже:

- геологическое изучение района работ;
- построение геомеханической модели объектов закачки;
- лабораторные исследования и подбор реологии шламовой пульпы;
- дизайн поглощающей скважины;
- расчёт технологических параметров;
- дизайн и изготовление оборудования;

- запуск проекта по закачке;
- организация мониторинга закачки;
- обновление существующей геомеханической модели по фактическим данным закачки.

Для закачки отходов используется поглощающая скважина, пример общей схемы конструкции, которой представлен на рис. 1. В скважине выбираются несколько геологических объектов, в которых размещаются отходы [4].

Технология обратной закачки особенно актуальна для российских проектов, где в силу климатических условий и сложности производственных процессов существует необходимость утилизации отходов бурения непосредственно на месте.

Выбор геологических объектов производится на основании построенной геомеханической модели закачки. Геомеханическая модель обобщает характеристики пласта и механические свойства пород потенциальных зон под закачку и залегающих выше барьерных зон. Для выбранных под закачку пластов-объектов была строится модель гидравлической трещины и проводится оценка вместимости и герметичности зон, достаточных для локализации закачиваемых потоков отходов в определенной геологической структуре. Также проводится оценка технологических параметров, рассчитываются оптимальные режимы закачки [5].

В поглощающую скважину закачивается широкий спектр буровых и технологических отходов, которые представляют собой как жидкости на водной и нефтяной основе, так и твёрдые частицы из выбуренного шлама.

Ниже представлен список типов отходов, которые закачиваются в поглощающую скважину в процессе проведения работ [6]:

- шламодная пульпа на нефтяной и водной основе;
- отработанные буровые растворы на нефтяной и водной основе;
- отходы после цементирования скважин (цементная пульпа);
- буровые сточные воды и дренажная вода;
- жидкости заканчивания скважин;
- жидкости консервации;
- различные технологические жидкости;
- специализированные вязкие пакки;
- промывочная жидкость (используется в основном для промывки скважины).

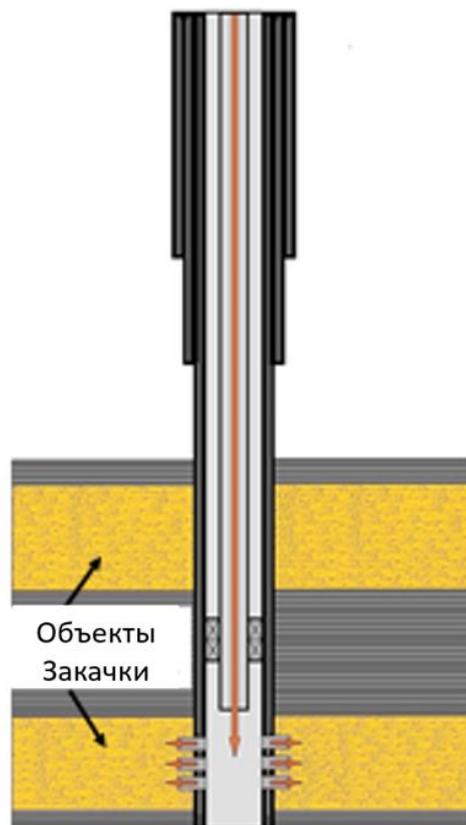


Рис. 1. Примерная схема поглощающей скважины

Так как закачиваемые отходы имеют разные реологические свойства и содержат твёрдые частицы, а также содержат в своём составе углеводороды, то закачиваемые отходы предварительно тестируются в лабораторных условиях. Основным компонентом закачки бурового шлама является шламовая пульпа, которая позволяет производить закачку твёрдой фазы в поглощающую скважину. Контроль качества пульпы проводится в процессе закачки на месте проведения работ, где в полевых условиях тестируется реология каждой закачанной пачки на соответствие технологическим параметрам, полученным в лабораторных условиях. Перед проведением работ в лабораторных условиях подбирается необходимая реология шламовой пульпы на основе фактических образцов жидкости и шлама с месторождения.

Процесс закачки вызывает местное увеличение напряжения в пласте из-за открытия гидравлической трещины и уплотнения окружающей горной породы. Во время операций значительные объёмы твердой фазы размещаются в трещине, что вызывает увеличение локального напряжения в объекте и непосредственно влияет на дальнейшее распространение гидравлической трещины и конечную ёмкость объекта закачки. Поэтому в процессе проведения закачки проводится ежедневный мониторинг параметров с детальным анализом давления и регулярной корректировкой модели закачки, который позволяет своевременно реагировать и устранять риски, а также проводить оптимизацию самого процесса.

Использование технологии утилизации буровых отходов с выбуренных скважин позволяет убрать непроизводительное время по причине накопления бурового шлама на объекте работ.

Контролируемый процесс размещения отходов позволяет исключить любые риски и разместить максимально возможное количество отходов в объекте закачки.

Процесс является экономически эффективным, так как все накопленные отходы размещаются в пласте без остатка на поверхности и у заказчика отсутствуют будущие экологические обязательства перед контролирующими органами [7].

В целом, реинъекция буровых отходов в скважины представляет собой современный и перспективный подход к обращению с отходами в нефтяной промышленности. Этот метод демонстрирует высокую эффективность, позволяет сэкономить ресурсы, снизить негативное воздействие на окружающую среду и обеспечить стабильность производства нефти и газа. Развитие и внедрение реинъекции отходов в практику добычи углеводородов является ключевым фактором устойчивого развития отрасли и обеспечения экологической безопасности.

Список источников

1. ГОСТ Р 52368-2005. Технологический процесс обратной закачки буровых отходов в скважины. Общие требования.
2. Зюзина Е.В., Королева Н.А. Эффективность использования технологии обратной закачки отходов бурения в скважину // Проблемы нефтегазового комплекса. 2018. № 4. С. 78–85.

3. Карасик Н.М. Обратная закачка отходов бурения в скважину как экологически безопасная технология очистки недр // Экология и промышленность. 2016. № 2. С. 30–38.

4. Николаев И.Г., Орлова А.С. Применение технологии обратной закачки отходов бурения в скважину для устранения загрязнений породы // Геология и нефтегазоносность. 2019. Т. 10, № 1. С. 112–119.

5. Петров В.С., Смирнова Е.Д. Сравнительный анализ эффективности технологий обратной закачки отходов бурения в скважину // Опыт мировых нефтедобывающих компаний. 2015. № 5. С. 64–72.

6. Шилов А.И., Богданова Е.В. Интегрированная система управления процессами обратной закачки отходов бурения в скважину // Инновации в геологии и горнодобыче. 2019. № 2. С. 18–26.

7. Технология обратной закачки отходов бурения в поглощающую скважину как наиболее экологически эффективный способ утилизации отходов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.akros-llc.com/innovation/projects/tekhnologiiya-obratnoy-zakachki-otkhodov-bureniya-v-pogloshchayushchuyu-skvazhinu-kak-naibolee-ekolo>. (дата обращения: 18.05.2024).

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ НЕСТРУКТУРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ

В.С. Кондаков

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Нейронные сети, в особенности сверточные нейронные сети (*CNN*), показали свою эффективность в выявлении скрытых закономерностей и зависимостей в текстовых данных. *CNN*, изначально разработанные для обработки изображений, успешно применяются для анализа текстов, классификации, анализа тональности и выделения именованных сущностей благодаря своей способности выявлять локальные паттерны посредством применения фильтров.

Рекуррентные нейронные сети (*RNN*) особенно полезны для обработки последовательных данных, таких как текст. Они могут моделировать временные зависимости и контекст, что делает их подходящими для задач языкового моделирования, машинного перевода и анализа тональности.

Ключевые слова: нейронные сети, обработка информации, неструктурированный текст

В современном мире объем информации растет с каждым годом в геометрической прогрессии. Нейронные сети представляют собой мощный инструмент для обработки и анализа неструктурированной информации, такой как текст, изображения, аудио и видео. Они позволяют извлекать скрытые закономерности и связи, что значительно улучшает качество и скорость анализа данных.

Обработка текстовой неструктурированной информации нейронными сетями представляет собой значительный прорыв в области обработки естественного языка (*NLP*). Неструктурированный текст, такой как сообщения в социальных сетях, электронные письма и документы, не имеет заранее определенной структуры, что делает его анализ и интерпретацию сложными для традиционных методов. Нейросети, особенно сверточные нейронные сети (*CNN*), предлагают мощные инструменты для выявления и использования скрытых закономерностей в таких данных.

Сверточные нейронные сети, изначально разработанные для обработки изображений, оказались эффективными и для обработки текстовой информации благодаря своей способности выявлять локальные паттерны и зависимости. Это достигается посредством применения фильтров, которые сканируют текстовые данные, выделяя важные фрагменты информации. Такие подходы позволяют нейросетям успешно справляться с задачами классификации текста, анализа тональности, выделения именованных сущностей и многими другими [1].

Особое внимание в современных исследованиях уделяется разработке моделей, способных эффективно обрабатывать большие объемы текстовых данных, учитывая их контекстуальные особенности. Использование предобученных эмбедингов, таких как *Word2Vec* и *GloVe*, а также более сложных моделей, таких как *BERT* и *GPT*, значительно улучшает качество анализа и интерпретации текстов [2].

1. Сверточные нейронные сети (*CNN*) – используются для извлечения локальных признаков из текстов, таких как n -граммы. *CNN* применяют фильтры для обработки словосочетаний, что позволяет выделять важные паттерны. Используются для классификации текста и анализа тональности.

2. Рекуррентные нейронные сети (*RNN*). Обрабатывают последовательные данные, учитывая предыдущие состояния. Позволяют моделировать зависимости в последовательностях.

3. Трансформеры (*Transformers*) – используют механизм внимания (*attention*) для моделирования зависимостей в последовательностях, что позволяет эффективно обрабатывать большие объемы текста. Примерами трансформеров являются большие языковые модели такие как *BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers)*, *GPT (Generative Pre-trained Transformer)*. Применяются для решения задач понимания текста и генерации текста [3].

Сверточные нейронные сети, изначально разработанные для обработки изображений, оказались эффективными и для обработки текстовой информации благодаря своей способности выявлять локальные паттерны и зависимости. Это достигается посредством применения фильтров, которые сканируют текстовые данные, выделяя важные фрагменты информации. Такие подходы позволяют нейросетям успешно справляться с задачами классификации текста, анализа тональности, выделения именованных сущностей и многими другими.

Рекуррентные нейронные сети (*RNN*). Рекуррентные нейронные сети особенно эффективны для обработки последовательных данных, таких как текст. В отличие от обычных нейронных сетей, *RNN* имеют циклические связи, которые позволяют сохранять информацию о предыдущих элементах последовательности, что делает их подходящими для задач, связанных с временными рядами и последовательностями. Вот подробное описание их применения в обработке текста [4].

Основные характеристики *RNN*:

1. Последовательная обработка: *RNN* обрабатывают последовательности данных поэтапно, сохраняя информацию о предыдущих шагах в скрытых состояниях.

2. Временные зависимости: *RNN* могут учитывать временные зависимости и контекст в данных, что важно для понимания текста.

3. Обратное распространение через время (*BPTT*): Алгоритм обучения, используемый для настройки весов *RNN*, учитывает временные зависимости.

Применение *RNN* для обработки текста:

1. Языковое моделирование и предсказание текста – *RNN* используются для предсказания следующего слова в предложении или следующего символа в последовательности.

2. Машинный перевод – *RNN* могут преобразовывать текст с одного языка на другой, используя архитектуры энкодер-декодер.

3. Анализ тональности – *RNN* применяются для определения эмоциональной окраски текста (положительная, нейтральная, отрицательная). Например, анализ отзывов пользователей на продукцию или услуги.

4. Распознавание речи – *RNN* могут преобразовывать аудиозаписи речи в текст. Голосовые помощники, такие как *Siri* и *Alexa*.

Примером обработки неструктурированных данных с помощью *RNN* может служить анализ тональности текста. Процесс анализа тональности текста в общем виде включает в себя следующие шаги [5]:

1. Токенизация текста и преобразование в эмбединги: текстовые данные представляются в виде последовательностей числовых индексов, которые затем преобразуются в векторы фиксированной размерности (эмбединги).

2. Обновление скрытого состояния: *RNN* обновляет скрытое состояние на каждом шаге времени с использованием входного вектора и предыдущего скрытого состояния.

3. Предсказание выхода: выход *RNN* представляет собой вероятности для каждого класса (положительный, отрицательный, нейтральный) на каждом шаге времени.

Формальное представление задачи анализа тональности текста с использованием *RNN* можно описать в виде следующих шагов:

1. Обозначения и подготовка:

x_t – входной вектор в момент времени t ;

h_t – скрытое состояние в момент времени t ;

W_h – весовая матрица для входного вектора;

U_h – весовая матрица для предыдущего скрытого состояния;

b_h – вектор смещения для скрытого состояния;

y_t – выходной вектор в момент времени t ;

W_y – весовая матрица для выходного вектора;

b_y – вектор смещения для выходного вектора;

s_t – эмбединг слова в момент времени t .

2. Токенизация и эмбединг. Пусть у нас есть предложение "*I watch this movie!*". Сначала слова преобразуются в индексы и затем в эмбединги:

Преобразование слов в индексы:

$$x_t = \text{tokenize}(w_t).$$

Функция *tokenize* используется для преобразования текста в последовательность токенов (слов, символов или подслов). Ее работа состоит из нескольких основных этапов:

- Очистка текста – удаление специальных символов, пунктуации и пробелов и приведение текста к нижнему регистру.

- Разделение на токены – разделение текста на отдельные слова или символы.

- Обработка токенов – удаление стоп-слов (часто встречающихся слов, не несущих важного смысла, например, "и", "в", "на"). Преобразование словоформ к их базовым формам (лемматизация или стемминг).

- Преобразование токенов в индексы – присвоение каждому токenu уникального числового индекса, основываясь на заранее подготовленном словаре.

В данном случае получится:

2.1 Приведение к нижнему регистру: "i watch this movie!"

2.2 Удаление пунктуации: " i watch this movie"

2.3 Разделение на токены: "i", "watch", "this", "movie "

2.4 Обработка токенов:

- удаление стоп-слов (в данном случае не требуется);

- лемматизация/стемминг (в данном случае не требуется)

2.5 Преобразование токенов в индексы:

Словарь будет состоять из следующих элементов: {"i": 1, "love": 2, "machine": 3, "learning": 4}

Результат: [1, 2, 3, 4]

3. Преобразование индексов в эмбединги:

Эмбединг слой можно описать следующей формулой:

$$s_t = Embedding(x_t),$$

где s_t – эмбединг вектор для токена x_t в момент времени t ; x_t – входной токен в момент времени t .

Изначально все слова из словаря отображаются на случайные векторы фиксированной размерности. Эти векторы затем оптимизируются в процессе обучения модели. Каждый токен (слово) из текста преобразуется в числовой индекс на основе словаря. Затем каждый индекс отображается на соответствующий эмбединг вектор из матрицы эмбедингов.

Пусть у нас есть словарь, содержащий 4 слова: "I", "watch", "this", "movie". Для простоты будем считать, что размер эмбединговых векторов равен 3.

Словарь:

"I" -> индекс 0; "watch" -> индекс 1; "this" -> индекс 2; "movie" -> индекс 3

Матрица эмбедингов:

$$E = \begin{matrix} e_{0,0} & e_{0,1} & e_{0,2} \\ e_{1,0} & e_{1,1} & e_{1,2} \\ e_{2,0} & e_{2,1} & e_{2,2} \end{matrix},$$

где каждая строка e_i представляет собой эмбединг вектор для соответствующего слова.

Вектор эмбединга для "watch" будет строкой 1 из матрицы эмбедингов E .

4. Обновление скрытого состояния.

Для каждого слова в последовательности обновляется скрытое состояние:

$$h_t = \tanh(W_h s_t + U_h h_{t-1} + b_h).$$

5. Вычисление выходного вектора и применение *softmax*. Для каждого шага времени t вычисляется выходной вектор и применяется функция *softmax*:

$$y_t = W_y h_t + b_y,$$
$$\hat{y}_t = \text{softmax}(y_t),$$

\hat{y}_t представляет собой вероятности принадлежности текста к каждому из классов (положительный, отрицательный, нейтральный) в момент времени t .

Вектор \hat{y}_t можно использовать для определения предсказанного класса на каждом шаге времени. Например, если $\hat{y}_4 = [0.1, 0.8, 0.1]$, то модель предсказывает, что текст имеет положительную тональность на основе последнего слова "movie".

Использование выходного вектора и функции *softmax* позволяет преобразовать значения, вычисленные *RNN*, в вероятности, которые могут быть использованы для предсказания классов в задачах классификации. В данном примере приведен формализованный способ получения вероятности для каждого из классов. Эти вероятности помогают определить, какой класс наиболее вероятен на основе текущего входного состояния сети.

Таким образом применение нейронных сетей для обработки неструктурированных текстовых данных открывает новые возможности для автоматизации и улучшения качества анализа текстов. Эти технологии продолжают развиваться, предлагая все более точные и эффективные решения для задач обработки естественного языка. В будущем можно ожидать дальнейшего улучшения моделей и алгоритмов, что приведет к еще более широкому внедрению нейронных сетей в различных сферах деятельности.

Список источников

1. Григорьев А. Машинное обучение. Портфолио реальных проектов. Издательский дом «Питер», 2023. С. 106–108.
2. Анализ тональности в русскоязычных текстах, часть 1: введение / Хабр (habr.com) [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/companies/vk/articles/516214/> (дата обращения: 28.02.24).
3. Орельен Ж. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и Tensor Flow // Диалектика, 2020. С. 130–134.
4. Николенко С., Кадури А., Архангельская Е. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. Изд. Питер, 2020. С. 106–104.
5. Йоав Гольдберг Нейросетевые методы в обработке естественного языка. Изд. Москва, 2019. С. 186–190.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РАЗДЕЛЬНОГО СБОРА МУСОРА В РФ: СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПИЛОТНЫХ ПРОЕКТОВ В РАЗЛИЧНЫХ ГОРОДАХ

А.С. Куценко

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. В России существует проблема раздельного сбора мусора. Раздельный сбор мусора (РСМ) – один из инструментов решения. В статье анализируются пилотные проекты по РСМ в разных городах России, выявляются факторы успеха и формулируются рекомендации по совершенствованию системы.

Ключевые слова: раздельный сбор мусора, устойчивое развитие, экологическая безопасность, переработка отходов, пилотные проекты

Введение. Ежегодно в России образуется более 70 млн тонн твердых коммунальных отходов (ТКО). Традиционное захоронение мусора на полигонах приводит к негативным экологическим последствиям и истощению ресурсов [1]. Всего 18,5 % россиян имеют доступ к раздельному сбору мусора. Баки для разных видов отходов можно встретить на каждой контейнерной площадке лишь в 26 городах, причем почти все они находятся в Московской области. А в 32 городах у жителей вообще нет возможности отсортировать мусор в разные баки возле домов [2].

РСМ позволяет извлекать различные компоненты для повторного использования и переработки. Это способствует сокращению захоронений, снижению нагрузки на окружающую среду, экономии ресурсов и созданию новых рабочих мест в сфере переработки.

Международный опыт внедрения РСМ. Опыт многих стран демонстрирует успех внедрения РСМ. Например, в Германии мультиконтейнерная система с разделением на множество фракций, система РОП (расширенная ответственность производителей), высокий уровень экологической культуры населения – все это обеспечивает высокую эффективность раздельного сбора мусора.

В Японии широко распространена детальная сортировка отходов (более 10 фракций), а также сжигание неперерабатываемых отходов с использованием современных технологий.

Швеция – лидер по переработке отходов и производству энергии из них. Доля отходов, отправляемых на полигоны, стремится к нулю благодаря развитой инфраструктуре переработки и ориентации на замкнутый цикл использования ресурсов [3].

Факторы, влияющие на эффективность РСМ. Законодательство: четкое законодательное регулирование всех этапов обращения с отходами, внедрение принципов РОП, наличие стимулирующих мер и эффективных механизмов контроля – все это необходимо для успешного внедрения РСМ.

Примером влияния законодательства на эффективность раздельного сбора мусора является внедрение системы РОП в странах Европейского союза. В рамках РОП производители товаров и упаковки несут финансовую ответственность за утилизацию своей продукции. Это стимулирует производителей:

- разрабатывать более экологичную упаковку;
- инвестировать в развитие инфраструктуры переработки;
- повышать осведомленность потребителей о важности раздельного сбора мусора.

В результате внедрения РОП в ЕС удалось значительно повысить уровень раздельного сбора мусора и переработки отходов.

В России система РОП пока находится на стадии становления. Однако уже принят ряд законов, направленных на ее развитие. Дальнейшее совершенствование законодательства в области РОП, введение четких правил и стимулирующих мер, а также эффективный контроль за их исполнением могут дать значительный импульс развитию раздельного сбора мусора в России.

Инфраструктура: развитая инфраструктура, включающая достаточное количество контейнеров для раздельного сбора, специализированный транспорт, современные сортировочные станции и предприятия по переработке вторсырья, являются залогом эффективности системы РСМ.

Уровень осведомленности населения: высокий уровень экологической культуры населения, готовность участвовать в раздельном сборе отходов, а также понимание важности РСМ для охраны окружающей среды играют ключевую роль в успехе системы.

Технологические аспекты: Использование современных технологий сортировки и переработки, разработка новых материалов и упаковки, внедрение цифровых технологий для мониторинга потоков отходов и контроля за системой позволяют существенно повысить эффективность РСМ.

Экономические факторы: развитый рынок вторсырья, стабильный спрос на вторсырье, государственная поддержка предприятий, занимающихся переработкой, а также инвестиции в развитие инфраструктуры РСМ делают систему экономически целесообразной.

Анализ пилотных проектов в России. В данном исследовании рассмотрены пилотные проекты по РСМ в трех городах России: Екатеринбурге, Воронеже и Перми.

Екатеринбург: внедрена мультиконтейнерная система, позволяющая разделять отходы на шесть фракций. Город активно инвестирует в развитие инфраструктуры: установлены более 3000 специализированных контейнеров, закуплен спецтранспорт, работают два современных мусоросортировочных комплекса. Важным аспектом проекта является информационная кампания [4].

Воронеж: выбран более простой подход – двухконтейнерная система. Один контейнер предназначен для «сухих» отходов, другой – для «мокрых». Проведена активная информационная кампания, а также внедрены программы стимулирования жителей за раздельный сбор отходов [5].

Пермь: приоритетом является отдельный сбор органических отходов. Созданы специальные контейнеры для сбора органики, которые затем отправляются на компостные площадки. Также работает программа по предоставлению жителям домашних вермикомпостеров для переработки органических отходов в квартирных условиях [6].

Динамика по РСМ в Екатеринбурге, Воронеже и Перми. Наиболее значительный рост объемов отдельного сбора отходов наблюдается в Екатеринбурге, что может быть связано с более развитой инфраструктурой и внедрением мультиконтейнерной системы. Воронеж и Пермь демонстрируют более умеренный рост показателей.

Рекомендации по внедрению и развитию системы РСМ в России. Законодательство: необходимо усилить ответственность производителей за утилизацию выпущенной продукции. Дальнейшее развитие системы РОП с увеличением нормативов утилизации и введением более жестких санкций за их несоблюдение даст значительный эффект. Необходимо совершенствовать законодательство в области сортировки и переработки отходов, создавая четкую нормативную базу.

Государственная поддержка: предоставление субсидий и льгот регионам и муниципалитетам для развития инфраструктуры РСМ и повышения уровня отдельного сбора отходов.

Инфраструктура: расширение сети контейнеров для отдельного сбора, обеспечивая доступность контейнеров для различных фракций отходов во всех районах городов и населенных пунктов. Обновление парка мусоровозов и закупка специализированного транспорта для отдельного вывоза отходов. Строительство новых и модернизация существующих сортировочных станций с внедрением современных технологий сортировки отходов.

Осведомленность населения: широкомасштабные информационные кампании с использованием различных каналов коммуникации. Разработка образовательных программ для детей и взрослых, внедрение в школьную программу занятий по экологии и отдельному сбору мусора.

Стимулирование участников РСМ: предоставление экономических льгот для жителей, активно участвующих в отдельном сборе мусора (снижение тарифов на вывоз ТКО, предоставление скидок на товары и услуги). Развитие рынка вторсырья с созданием благоприятных условий для предприятий, занимающихся переработкой отходов.

Список источников

1. Об утверждении Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года: Распоряжение правительства Российской Федерации от 25 января 2018 года N 84-р [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/556353696>

2. Советская и российская ежедневная общественно-политическая газета с усиленным деловым блоком «Коммерсантъ». – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/4284629>

3. Глеба О.В., Чудакова К.А. Раздельный сбор отходов в России: проблемы и пути решения // Аграрное и земельное право. 2020. №2 (182). С. 56–58.

4. Официальный сайт «Дизайн-код Екатеринбурга». Режим доступа: <https://ekaterinburg.design/waste>.

5. Официальная группа в социальной сети «ВКонтакте» «Раздельный Сбор Воронеж». Режим доступа: https://vk.com/rsbor_vrn.

6. Официальная группа в социальной сети «ВКонтакте» «recycleperm Раздельный сбор отходов | Пермь». Режим доступа: <https://vk.com/recycleperm>.

7. Исследование платформы с открытыми данными и исследованиями по социальным проблемам в регионах России «Если быть точным» – «Воздух, вода, почвы и мусор: главные экологические проблемы, которые влияют на жизнь и здоровье россиян». Режим доступа: <https://tochno.st/materials/ekologiya>

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕЦИКЛИНГА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ, ОСНОВАННОЕ НА ПРИНЦИПАХ ЛОГИСТИКИ И ИНСТРУМЕНТОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.Е. Марченко, М.В. Передерий, В.В. Страшной

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Исследованы методы совершенствования процессов рециклинга отходов промышленного предприятия.

Ключевые слова: бережливое производство; рециклинг; отходы; логистика; логистическая система; промышленное предприятие

В настоящее время промышленные предприятия играют ключевую роль в экономической и политической сферах страны. Расширение деятельности промышленных предприятий неразрывно связано с одной из основных проблем функционирования – увеличением количества отходов, что в свою очередь сказывается на ухудшении экологической ситуации в регионе.

Проблема загрязнения окружающей среды отходами производственных предприятий достигла таких масштабов, что появилась необходимость в максимально короткие сроки введения в производственную систему предприятий процессов складирования, сортировки и переработки отходов.

Логистика стала неотъемлемым инструментом решения проблем, возникающих на всех этапах производства продукции, включая и рациональное потребление материалов. Совершенствование логистической системы предприятия в части оптимизации материальных потоков напрямую влияет на количество отходов предприятия.

Логистическая система предприятия, как метод управления всеми входящими и выходящими материальными потоками в процессе рециклинга – важный инструмент для снижения издержек при перевозке первичных и вторичных ресурсов и снижения уровня загрязнения природы [1].

Целью работы является анализ функционирования логистической системы промышленного предприятия с целью описания механизмов внедрения инструментов «бережливого» производства для совершенствования процесса рециклинга отходов, который позволит уменьшить негативное воздействие на окружающую среду и сократить потребление материальных ресурсов.

В условиях постоянно растущих объёмов производства по всему миру неизбежно повлекло за собой увеличение количества отходов и выбросов. На рис. 1 приведена статистика образования отходов промышленными предприятиями по годам, в млрд т.

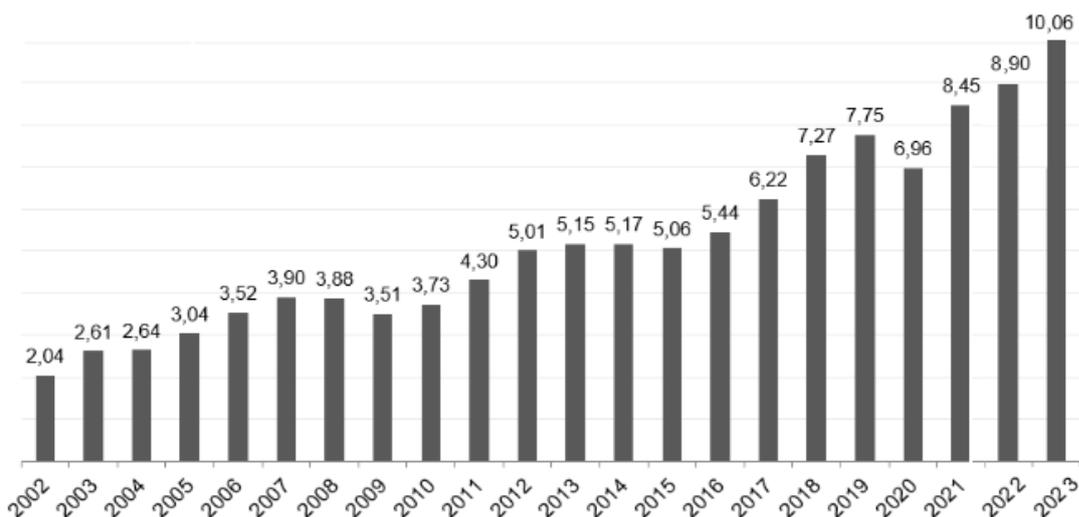


Рис. 1. Статистика образования отходов промышленных предприятий

Рециклинг – технологический процесс переработки отходов с целью получения вторичного сырья для выполнения производственных целей предприятия.

Рециклинг отходов является одним из основных направлений развития современных промышленных предприятий, так как в условиях политики импортозамещения и увеличения количества отечественных производственных площадок увеличивается отрицательное влияние деятельности на экосистему [2].

Важность развития рециклинга отходов в производственных системах можно обусловить несколькими аспектами:

- промышленные предприятия производят большое количество материальных и производственных остатков. Значительная часть этих остатков может быть переработана и возвращена в производственный цикл предприятия, что в конечном итоге позволит снизить количество используемого первичного сырья, позволит экономить энергию и сократить количество отходов, подлежащих к складированию и дальнейшей утилизации;

- экономическая целесообразность от переработки отходов позволит снизить затраты при планировании товарно-материальных ценностей и на их транспортировку, кроме того рециклинг отходов снижает налоговую нагрузку на предприятие и сокращает количество штрафов за несвоевременную утилизацию отходов;

- применение современных технологий и методов рециклинга способствует поиску новых возможностей для развития, так как внедрение инновационных технологий может привести к совершенствованию всей производственной системы в целом, что в свою очередь положительно скажется на конкурентоспособности предприятия.

На крупнейших промышленных предприятиях внедрение процессов рециклинга за счёт совершенствования логистической системы обосновано возможностью снизить производственные издержки и повысить свою экономическую эффективность [3].

Производственный цикл предприятия с налаженным процессом рециклинга отличается тем, что отходы, получаемые в процессе выпуска продукции, не оказывают негативного влияния на окружающую среду, а становятся добавочной продукцией, приносящей дополнительную прибыль. Схема такого производственного цикла приведена на рис. 2.

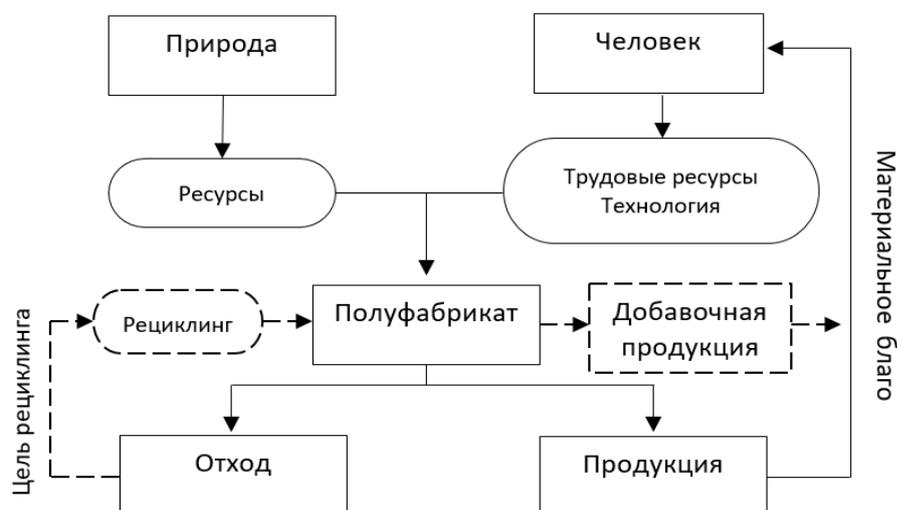


Рис. 2. Структурная схема производственного процесса с применением рециклинга отходов с применением концепции БП

Бережливое производство – современное и эффективное средство для борьбы с потреблением материальных ресурсов, которое не приносит эффективности. Возможность применения концепции бережливого производства для совершенствования процессов рециклинга на промышленных предприятиях можно рассматривать как комплексный подход к организации процесса в целом и участия в нём всех заинтересованных сторон [4,5].

Для совершенствования процессов рециклинга промышленного предприятия оптимальным методом является разработка карты потока создания ценности (КПСС) – мероприятие по разработке логистической схемы всех этапов материальных и информационных потоков производственной системы предприятия.

Можно выделить несколько основных этапов внедрения инструментов бережливого производства для совершенствования процессов рециклинга на предприятии:

- 1) создание потребности во внедрении инструментов бережливого производства через поиск основных проблемных вопросов, связанных с рециклингом отходов;
- 2) формирование цели внедрения инструментов бережливого производства;
- 3) создание карты потока создания ценности с детальной раскладкой всех логистических этапов материальных и информационных потоков производственной системы предприятия;
- 4) разработка и выполнение плана мероприятий, основанного на карте потока с первичной оценкой результатов;
- 5) анализ полученных результатов.

В качестве первичных результатов от внедрения инструментов бережливого производства могут быть рассмотрены следующие изменения в производственной системе: уменьшение количества брака на производстве, увеличение объема выпуска продукции, увеличение показателей эффективности использования материально-технических ресурсов, сокращение простоев оборудования и персонала, улучшение качества выпускаемой продукции.

Конкурентоспособность промышленных предприятий является одним из главных показателей их эффективной работы в современной производственной системе. Рециклинг отходов – важная составляющая производственной системы любого современного предприятия, которая позволяет уменьшить воздействие на окружающую среду и повысить экономическую эффективность путем внедрения системы вторичной переработки материальных ресурсов. Для совершенствования такой системы необходимо выстраивать процессы рециклинга на основных принципах концепции бережливого производства и совершенствования логистической системы предприятия. Использование логистических методов позволит максимально повысить эффективно выстроить процесс использования вторичного сырья, снизить издержки транспортировки отходов, снизить издержки производства за счёт использования вторичного сырья.

Доклад выполнен под руководством д.э.н., к.т.н., профессора М.В. Передерий.

Список источников

1. Неруш Ю.М., Панов С.А., Неруш А.Ю. Планирование и организация логистического процесса: учебник и практикум для среднего профессионального образования. М.: Изд-во Юрайт, 2022. 422 с.
2. Шаталов Р.Л., Черноусов П.И., Максимов Е.А., Голубев О.В. Инженерная экология, рециклинг металлов и деформированных сплавов. 2021.
3. Демиденко Д.С., Малевская-Малевиц Е.Д. Повышение эффективности производства на основе расширения использования вторичных ресурсов на предприятиях Санкт-Петербурга // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского гос. политехн. ун-та. Экономические науки. 2013. № 4(175). С. 84–88.
4. Вумек ДЖ.П., Джонск Д.Т. Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. М: Альпина Бизнес Букс, 2012. 468 с.
5. Кокурин Д.И., Назин К.Н. Основы рециклинга. Общая теория: учебное пособие для вузов. М.: Изд-во Юрайт, 2024. 121 с. (Высшее образование). ISBN 978-5-534-10771-5. Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ИНЪЕКТИРОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИОННЫХ МНОГОЛЕТНЕМЁРЗЛЫХ ГРУНТОВ МЕТИЛОТРОФНЫМИ СРЕДАМИ

В.В. Мельниченко, Д.К. Мельниченко

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. В условиях изменения климата на крайнем севере возникает проблема таяния вечномёрзлых грунтов, что приводит к выбросу метана, усиливающего тепловой эффект. Это ухудшает состояние оснований и фундаментов, уменьшая их долговечность. В рамках исследований была разработана технология борьбы с этой проблемой, которая включает в себя инъекцию метанопоглощающих бактерий в грунт для утилизации метана.

Ключевые слова: метан, метаногидрат, таяние грунтов, парообразующие газы, метанотрофные бактерии, инъектирование, усиление оснований, *Pseudomonas methanica*, *Methylococcus capsulatus* ВКПМ В-13479

В настоящее время вопрос глобального потепления становится все более актуальным для политиков, экологов и общественности во всем мире, включая Россию. Если ранее изменение климата и глобальное потепление рассматривались как потенциальные угрозы, то сейчас они превратились в реальную проблему. Повышение температуры атмосферы приводит к таянию вечномёрзлых грунтов.

Почти 60 % всей территории страны покрыто вечной мерзлотой. Процесс таяния этой мерзлоты значительно влияет на уменьшение несущей способности зданий и сооружений. В результате подстилающий слой грунта теряет свою способность выдерживать нагрузки, что приводит к деформированию самих конструкций.

Объектом изучения являются способы снижения содержания метана в породе. В качестве основного фокуса исследования выбраны ММГ, изображенные на рис. 1.

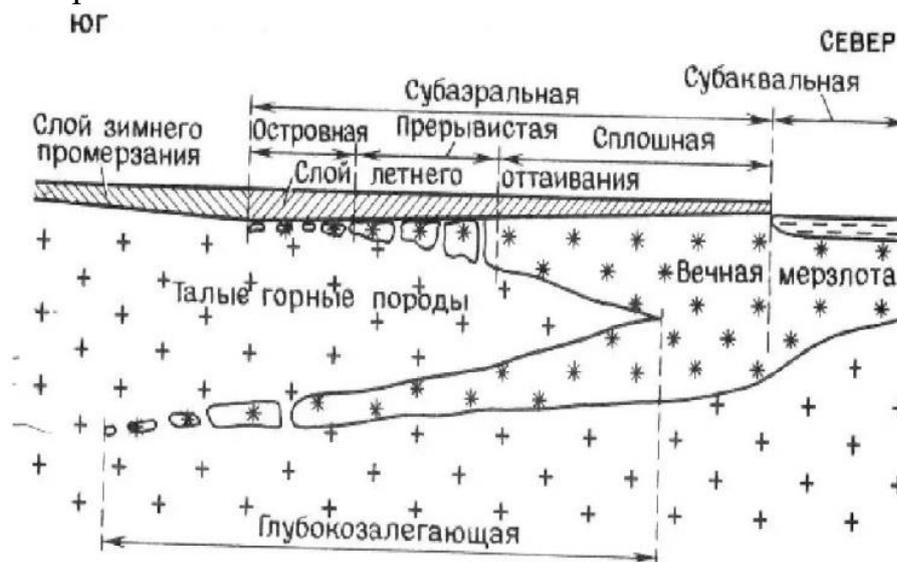


Рис. 1. Разрез толщи вечной мерзлоты

К задачам отнесены оценка воздействия метана на изменения температурного режима и климата, изучение характеристик этого газа, анализ его поведения при повышенных температурах, а также исследование взаимодействия метана с кислородом, водой и другими компонентами породы с учетом химических реакций. Рассматриваются методы утилизации метана, предполагается провести моделирование воздействия метана на состав и свойства подстилающего слоя, а также определить оптимальные методы утилизации этого газа. Одним из перспективных способов является инъекция метанопоглощающих бактерий в толщу грунта, которые могут эффективно использовать метан в своем обмене веществами, тем самым снижая его концентрацию.

Вечномерзлые грунты представляют собой четырехкомпонентную (четырёхфазную) систему, включающую твердые частицы, незамерзшую воду, воздух или другой газ, а также лед в состоянии пластичного тела.

В 1945 г. советский ученый Н.А. Цытович выдвинул принцип механики мерзлых грунтов: «Количество, состав и свойства незамерзшей воды и льда, содержащихся в мерзлых грунтах, не остаются постоянными, а изменяются с изменением внешних воздействий, находясь в динамическом равновесии с последними». Этот принцип имеет большое значение при проектировании и строительстве на мерзлых грунтах. Понимание изменений количества воды и льда в грунте помогает предотвращать различные геотехнические проблемы, такие как усадка, деформация и разрушение конструкций из-за мерзлотных процессов.

Поскольку вечномерзлые грунты представляют собой систему из четырех компонентов, их состояние, свойства и содержание каждого компонента определяются на основе четырех основных характеристик: плотность мерзлого грунта ρ_f ненарушенной структуры; плотность твердых частиц грунта ρ_s ; суммарная весовая влажность мерзлого грунта ω_{tot} ; количество незамерзшей воды ω_w при температуре природного залегания грунта [1].

Как уже отмечалось ранее, многолетняя мерзлота содержит газ, который в большинстве случаев представлен метаном. В отношении слоев многолетней мерзлоты метан находится в составе гидратов, которые обычно располагаются в двух зонах: ниже основания ММГ при повышенном давлении и низких температурах; внутри слоя мерзлоты при отрицательных температурах и невысоком давлении.

Гидрат метана, также известный как метановый клатрат, представляет собой кристаллическое соединение метана с водой на молекулярном уровне, где соотношение между метаном и водой составляет примерно 1:5,75 или 4:23. Плотность гидрата метана ниже, чем у воды и льда.

Метангидрат обладает стабильностью при низких температурах и повышенном давлении. При повышении температуры гидрат метана легко разлагается на метан и воду



Метан, CH_4 – углеводород, базовый представитель класса алканов, лишен вкуса и запаха, легкий, безцветный, не смешивается с водой и обладает опасностью возгорания и взрыва.

Поскольку метан является газом, который способен образовывать пары, его воздействие на температурные условия, баланс и климат имеет огромное значение. Вклад метана в парниковый эффект оценивается примерно в 4–9 %. Парниковый эффект метана на атмосферу существенно превосходит аналогичное количество углекислого газа в 20 раз. Это подчеркивает важность сбора и утилизации метана.

В ходе исследования и анализа данных было обнаружено, что определенные экосистемы представляют собой среду обитания для метанопглощающих бактерий. Метанотрофы, или метанооксиляющие бактерии, представляют собой уникальные биологические организмы, которые используют метан в качестве своего основного источника углерода и энергии. Они способны поддерживать активную жизнедеятельность даже в экстремальных условиях. [2]

Штамм *Methylococcus capsulatus* ВКПМ В-13479 обладает следующими преимуществами:

- высокая скорость роста ($0,27 \text{ ч}^{-1}$) в метано-воздушной сфере;
- рост на питательных средах с уменьшенным содержанием минеральных компонентов питания (по сравнению с образцами) не приводит к уменьшению характеристик роста и производительности процесса;
- устойчивость к агрессивной среде без снижения скорости роста.

Процесс инъецирования грунтов предлагается производить в следующей последовательности (предлагается разбить на следующие технологические этапы):

1. Перед началом выполнения работ на площадку, предположительно в перевозных ферментерах, доставляется однокомпонентный инъекционный раствор. Состав раствора: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 0,5 г, KH_2PO_4 – 0,5 г, NH_4Cl – 1,0 г, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,2 г, CaCl_2 – 0,01 г, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,01 г, глюкоза – 10,0 г, раствор микроэлементов – 1 мл, вода – 1000 мл.

2. По периметру здания устраиваются скважины диаметром 150–200 мм.

3. В скважины под давлением закачивается раствор в объеме.

4. После полной диффузии раствора в толще грунта в скважину устанавливается арматурный каркас (диаметры рабочих и второстепенных стержней определяются проектом).

5. Скважина с установленными в ней армокаркасами заполняется цементным раствором до отказа.

6. Выжидается время, необходимое для набора бетоном допустимой для последующего нагружения конструкции прочности.

7. Выпуски арматуры увязываются с каркасом ростверка.

8. Устраивается опалубка и бетонируется ростверк, связывающий вновь установленную сваю с существующим фундаментом здания.

9. Выполняются работы по распалубливанию и последующему уходу за бетоном.

Содержание капсулы: питательная среда ((NH₄)₂SO₄, KН₂PO₄, NH₄CL, MgSO₄·7H₂O, CaCl₂, FeSO₄·7H₂O, глюкоза, раствор микроэлементов, вода), штамм бактерий. При усадке бетона, под действием внутренних напряжений, капсула испытывает сжатие, в результате чего нарушается ее целостность. По трещинам в теле бетона, образовавшимся вследствие усадки, происходит перенесение содержимого капсулы из зоны низкого содержания метана в зону более высокого.

Таким образом, данное исследование имеет большое практическое значение, поскольку позволяет не только уменьшить выбросы метана в атмосферу, но и использовать его как источник энергии. Кроме того, данная технология может быть применена для укрепления грунтов и защиты оснований зданий и сооружений от деформации вследствие растаяния вечной мерзлоты.

Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на улучшение эффективности процесса инъектирования, разработку новых видов метанопоглощающих бактерий и исследование их долгосрочного воздействия на грунты. Также возможно изучение влияния данной технологии на другие процессы в атмосфере и природной среде.

Список источников

1. Справочник мастера-строителя для работ в Северной строительной климатической зоне / Б.И. Березовский, И.А. Либерман, В.С. Неклюдов, Ю.О. Таргулян. Л., Стройиздат, 1986.
2. Штамм метанооксиляющих бактерий *Methylococcus capsulatus* ГБС-15 для получения микробной белковой массы [Текст]: пат. 2613365 Рос. Федерация: МПК С12N1/20 А23К10/10 С 16/03/2017

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Д.И. Монастырский

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Использование отходов в дорожном строительстве является важным направлением, способствующим снижению экологического воздействия и экономии ресурсов. Различные типы отходов применимы в этой области: металлургические шлаки используются в качестве заполнителей для дорожных оснований и асфальта, улучшая качество и срок службы дорог; зола и зольные шлаки от сжигания угля улучшают свойства асфальта и снижают затраты на материалы; строительные отходы, такие как переработанный бетон, кирпич и асфальт, используются как заполнители, снижая объем отходов и затраты на утилизацию; резиновая крошка из шин улучшает прочность, стабильность и сцепление дорожного полотна, снижая шум; переработанный пластик улучшает прочность и долговечность асфальта; филаментные кристаллы сульфата кальция улучшают характеристики асфальта, такие как устойчивость к высоким температурам и деформации. Применение этих материалов не только снижает объемы отходов и затраты на материалы, но и способствует устойчивому развитию, улучшая экологическую и экономическую ситуацию в регионах.

Ключевые слова: зольные шлаки, зола уноса, резиновая крошка, фосфогипс, дорожное строительство

Использование отходов в строительстве дорог является важной и перспективной областью, способствующей снижению воздействия на окружающую среду и экономии ресурсов. Существует несколько видов отходов, которые могут быть использованы в дорожном строительстве. Шлаки доменного и сталеплавильного производства часто используются в качестве наполнителей для дорожных оснований и асфальтобетона, повышая прочность и устойчивость к погодным условиям.

Использование обогащенного шлакового заполнителя в качестве материала основания дорожной одежды позволит улучшить качество и увеличить срок службы дорог. Переработка отходов черной металлургии при производстве обогащенного шлакового заполнителя позволит сэкономить средства на закупке и нерентабельной транспортировке дорогостоящего каменного заполнителя, а также решит проблему загрязнения окружающей среды. Для экономической оценки технологии обогащения шлакового заполнителя по прочности зерен можно использовать такой показатель, как разница между средней стоимостью обычного каменного заполнителя и обогащенного шлакового заполнителя. Этот показатель может существенно различаться для разных регионов. Наиболее выгодно использование обогащенного шлакового агрегата в регионах с действующими предприятиями черной металлургии. В этом случае существенно сокращаются затраты на транспортировку материала к месту строительства дороги.

Средняя стоимость одной тонны обогащенного шлакового агрегата 3,59 долл./т, а средняя стоимость одной тонны обычного каменного заполнителя составляет 6,28 долл./т. Этот показатель еще выше для регионов, не имеющих карьеров по добыче каменного сырья. Это подтверждает экономическую целесообразность использования предлагаемого материала в регионах с действующими металлургическими предприятиями [1].

Зола уноса и золошлаки от сжигания угля могут использоваться в качестве компонентов дорожных смесей, таких как асфальт и бетон, улучшая свойств асфальта, снижая затрат на материалы. Битый бетон, кирпич, асфальт могут быть переработаны и использованы в качестве наполнителей, уменьшая объем отходов, снижая затрат на утилизацию и материалы.

Утилизация отходов строительства и сноса (СиС) зданий является серьезной проблемой для многих стран, поскольку она способствует загрязнению окружающей среды и занимает ценное пространство свалок. Одним из потенциальных решений этой проблемы является использование отходов СиС при строительстве дорожных покрытий. Отходы СиС можно перерабатывать и использовать в качестве заполнителей в слоях дорожного покрытия. Этот подход не только сокращает утилизацию образующихся отходов СиС, но также сохраняет природные ресурсы, снижает потребление энергии и снижает выбросы парниковых газов, связанные с производством новых строительных материалов. Использование переработанных отходов строительства и сноса в дорожных покрытиях становится все более популярным в последние годы из-за его экономических и экологических преимуществ. Переработанные заполнители из отходов СиС можно использовать в качестве частичной замены натуральных заполнителей в дорожных покрытиях. Несколько исследований продемонстрировали возможность использования переработанных отходов СиС в качестве замены заполнителей без ущерба для производительности или долговечности [2].

Резиновая крошка от переработки шин используется для создания резинобитумного покрытия, улучшает долговечность и устойчивость дорожного полотна, повышает прочность, снижает шум, улучшает сцепление. Дальнейшие исследования и разработки по-прежнему необходимы для выявления дополнительных возможностей и совершенствования методологий эффективного включения и оптимизации отходов резины в асфальтовые смеси, что может привести к значительному прогрессу в переработке резиновых материалов для создания устойчивых инфраструктурных решений [3].

Переработанный пластик может использоваться в виде добавок к асфальту или в качестве компонентов для геосинтетических материалов, повышая прочность и долговечность асфальта, снижая количество пластиковых отходов. Использование переработанного полиолефинового пластика в гибких дорожных покрытиях является практичным путем, поскольку оно позволяет включать в себя большие объемы пластика, а также снижать стоимость первичных материалов. Их использование при модификации

асфальтобетонных вяжущих и последующих смесей, изготавливаемых мокрым способом, оценивалось главным образом из-за их распространенности. Эти переработанные модификаторы обладают множеством улучшенных эксплуатационных свойств в широком диапазоне температур, особенно улучшая устойчивость к образованию колеи, а также восприимчивость к температуре и разрушению [4].

На основании результатов исследований и экспериментов установлено, что пластиковые и стеклянные отходы представляют собой серьезную экологическую проблему: 74,47 % причин деградации связаны с неправильным составом смеси и выбором компонентов; необходимо обеспечить оптимальный выбор составляющих и правильное смешивание композита; скорректировать выбор сырья и использование экологической брусчатки с учетом ее способности противостоять нагрузкам; стекловолокно и крошка являются наиболее подходящими материалами для производства композитных дорожных материалов; стружка и стекольные отходы повышают прочность на сжатие на 52,17 и 73,91 % соответственно; оптимальный состав для экологического мощения – ПЭТ/ПП/ПЭВД+песок+стекло в соотношении 50/12,5/37,5. Исследуя рецептуру, в которой пластиковые отходы (ПЭТ/ПП/ПЭВД) смешиваются с заполнителями (песок и гравий) и волокнами стеклянных отходов, можно улучшить физические и механические свойства брусчатки [5].

Фосфогипс (ФГ) в дорожном строительстве – успешный способ улучшить его использование. Исследования и опыт применения фосфогипса в различных регионах мира показали его эффективность и экономическую целесообразность. В некоторых странах фосфогипс уже используется в массовом производстве дорожных материалов, демонстрируя хорошие результаты в плане долговечности и устойчивости дорожных покрытий. Использование фосфогипса в дорожном строительстве представляет собой инновационное и перспективное решение, позволяющее не только снизить затраты и повысить качество дорог, но и решить важные экологические проблемы, связанные с утилизацией промышленных отходов. Прежде чем применять ФГ в дорожном строительстве, необходимо провести анализ безопасности. Применение ФГ в дорожном строительстве все еще находится на предварительной стадии, и в большинстве исследований анализируется только влияние ФГ на характеристики дорожного основания или материалов дорожного покрытия. Однако лишь немногие исследования были сосредоточены на его долговечности или анализировали его долгосрочное воздействие на почву и водные ресурсы [6].

Для эффективного использования отходов в строительстве дорог необходимо учитывать нормативные требования и стандарты, регулирующие применение таких материалов. Экономическую целесообразность и доступность отходов. Таким образом, интеграция отходов в строительство дорог представляет собой важное направление, способствующее устойчивому развитию и улучшению инфраструктуры.

Список источников

1. Evaluation of the effect of enrichment of slag aggregate for pavement subbase by grains density on its physical and mechanical characteristics / V. Kunaev, B. Bazarov, I. Tavshanov et al. // *Results in Engineering*. 2023. Vol. 18. 101181.
2. Zainul Abedin Khan, Umashankar Balunaini, Susanga Costa. Environmental feasibility and implications in using recycled construction and demolition waste aggregates in road construction based on leaching and life cycle assessment – A state-of-the-art review // *Cleaner Materials*. 2024. Vol. 12. 100239.
3. Zakerzadeh M., Shahbodagh B., Ng J., Khalili N. The use of waste tyre rubber in Stone Mastic Asphalt mixtures: A critical review // *Construction and Building Materials*. 2024. Vol. 418. 135420.
4. Charlotte Abdy, Yuqing Zhang, Jiawei Wang, Yang Yang, Ignacio Artamendi, Bob Allen. Pyrolysis of polyolefin plastic waste and potential applications in asphalt road construction: A technical review // *Resources, Conservation and Recycling*. 2022. Vol. 180. 106213.
5. Etienne Malbila, Anicet Georges Lienou Koungwe, David Y.K. Toguyeni. Multicriteria analysis of the components of ecological paving stones made from plastic and glass waste, and granular reinforcements // *Open Ceramics*. 2024. Vol. 18. 100604.
6. Jiahui Men, Yiming Li, Peifeng Cheng, Zhanming Zhang. Recycling phosphogypsum in road construction materials and associated environmental considerations: A review // *Heliyon*. 2022. Vol. 8, Issue 11. e11518.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ТЕХНОЛОГИЯ РЕЦИКЛИНГА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИУРЕТАНА В КАЧЕСТВЕ АКТИВАТОРА РЕАКЦИИ ПОЛИАМИДА-6

А.Н. Овчинников, Б.М. Лукьянович, Д.А. Украинский

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Проведена оценка трибологических свойств – линейного износа и коэффициента трения полиамида-6 блочного (капролона), полученного путем анионной полимеризации капролактама, с добавлением на конечном этапе продуктов амидолиза термопластичного полиуретана (ТПУ) в качестве катализатора при синтезе полиамида-6. Указанная технология позволит перерабатывать отходы ТПУ в виде стружки, при этом получать товарный капролон хорошего качества.

Ключевые слова: капролон, полиамид-6 блочный, анионная полимеризация капролактама, амидолиз, переработка полиуретана

Цели в области устойчивого развития – это 17 взаимосвязанных целей, разработанных в 2015 году Генеральной ассамблеей ООН в качестве плана достижения лучшего будущего для всех. Концепция устойчивого развития родилась путем объединения 3 основных точек зрения: экономической, социальной и экологической. Пункт 12 целей – это обеспечение рациональных моделей потребления и производства, что обеспечивается оптимальным использованием ресурсов, а также использованием экологичных природо-, энерго-, и материалосберегающих технологий.

Производство конструкционных полимерных материалов в России и, в частности, Ростовской области резко выросло и продолжает увеличиваться начиная с 2022 года. Закономерным итогом такого развития является и рост количества полимерных отходов как на этапе синтеза полимера, так и в ходе технологического процесса производства изделий.

Развитие полимерных технологий и рост объемов выпуска полимеров на основе полиуретанов в Ростовской области стимулировано открытием завода ООО "РТ-ЭПАФЛЕКС" – единственного российского производителя термопластичных полиуретанов. На базе группы компаний успешно реализован весь цикл – от производства гранулы до готового продукта, включая механическую обработку изделий.

При этом сохраняется та же закономерность: рост производства полиуретанов приводит к увеличению количества образующихся твердых отходов. Вариант утилизации их путем сжигания или захоронением может привести к безвозвратным потерям ценных сырьевых ресурсов и возникновению серьезных экологических проблем на долгие годы. В этой связи разработка способов использования ТПУ отходов, с учетом целей устойчивого развития, приобретает особую актуальность. Особенно следует отметить, что исследования ориентированы в первую очередь на рециклинг полимера, а не бесполезную утилизацию.

Термопластичные полиуретаны (ТПУ) являются термопластичными эластомерами, которые перерабатываются в расплаве. ТПУ могут обладать различной комбинацией физических и химических свойств, а поэтому могут использоваться во многих ответственных областях промышленности.

ТПУ получается по реакции полиприсоединения, происходящей с участием диизоцианата и одного или нескольких диолов по специальному механизму. Для производства ТПУ необходимо три базовых сырьевых компонента: полиол или длинноцепной диол; удлинитель цепи или короткоцепной диол; диизоцианат. ТПУ представляет собой линейный сегментированный блок-сополимер, состоящий из твердых (жестких) и мягких (гибких, эластичных) сегментов.

Термопластичные полиуретаны легко перерабатываются традиционными методами: литье под давлением, экструзия, раздувное и компрессионное формование и т.д. Из них легко формуруются изделия различной формы.

При этом на ООО "РТ-ЭПАФЛЕКС" уже сегодня организовано практически безотходное производство. Литники и другие отходы формования дробятся и возвращаются в технологию и т.д. Исключением является только процесс механической обработки, при котором образуется стружка ТПУ. Стружка складывается в биг-бэгах, а компания ищет способ переработки или утилизации. В настоящее время существует несколько видов вторичной переработки ТПУ, одни из них: физическая переработка и химическая переработка.

Физическая переработка полиуретанов подразумевает ряд процессов вторичной переработки: захоронение материала, дробление, гранулирование, клеевое формование и др.

Трудность возврата отходов механической обработки ТПУ в производство физической переработкой заключается в сложности технологии гранулирования, описанным в [1]. Так, например, способ гранулирования ТПУ путем экструдирования расплава полиуретана, охлаждения полученных стренг при их движении на транспортере воздухом и водой и последующей резки их на цилиндрические гранулы экономически нецелесообразен из-за сложности и громоздкости оборудования и не позволяет получать сферические гранулы, что очень важно для их последующей переработки. При других способах, конечный продукт содержит значительное количество агрегированных гранул, что ведет к снижению его качества и делает также невозможным применение в процессах переработки.

При этом использование стружки осложняется низким насыпным весом, содержащимися наполнителями, такими как, например, графит. Но при этом стружка обладает стабильным составом и размерами.

В качестве альтернативы физической/механической переработки предлагается химическая переработка, которая позволяет получать довольно высококачественный пластик. Химическая переработка заключается в разложении полиуретана с помощью различных процессов – гидролиза, аминолиза и гликолиза.

Наиболее изученным, и уже реализованным является химический рециклинг методом гликолиза. При этом продукты используются в качестве составляющей при синтезе полиуретанов или других полимеров, например, полиамидов.

При этом разрушение полиуретанов можно проводить под действием других нуклеофильных агентов, в частности, аминов. Однако, внедрение таких технологий в промышленность, в настоящее время, сдерживается высокой стоимостью и токсичностью аминных агентов деструкции.

Также довольно хорошо изучен процесс химической деструкции ПУ под действием доступного, относительно недорогого и малотоксичного амина – ϵ -капролактама и дальнейшего применения продукта деструкции в качестве клеев, красок и т.п. [2].

В связи с этим целью данной работы являлось – разработка технологии химической деструкции ТПУ под действием ϵ -капролактама и дальнейшего применения получаемого продукта для синтеза полиамида-6 блочного.

В качестве исходного объекта использовали ТПУ производства ООО «РТ-ЭПАФЛЕКС» марок Эпалан 85A2S10, Эпалан 95A2S10, наполненные искусственным графитом.

В качестве деструктирующего агента использовали ϵ -капролактама, производимый ОАО «Куйбышев Азот».

Амидолиз проводили известным способом в среде аргона в трехгорловой колбе объемом 250 мл, снабженной мешалкой и термометром, при температуре 160 °С. В колбу загружали ϵ -капролактама и стружку ТПУ при массовом соотношении 60:40.

Для изучения трибологических свойств использовали машину для испытаний на трение марки Т-11 по схеме «палец - диск». На образцах размером 5×5×10 мм определяли линейный износ и коэффициент трения. В качестве материала контртела выбрали сталь 40. Параметры процесса трения: сила нормальная – 10Н, скорость вращения – 424 об/мин. Длина пути трения – 600 м. Эксперименты проводились без использования смазочного материала. В результате амидолиза под действием ϵ -капролактама получены продукты, представляющие собой расплавы светло-коричневого цвета.

Полиамид получали по стандартной технологии способом анионной полимеризацией капролактама при нагревании в присутствии щелочного катализатора и модифицированного толуилендиизоцианата, блокированного капролактамом. При этом продукт амидолиза добавляли последним в количестве 12,5 % по массе (прототип 2) и 25 % по массе (прототип 3) от массы капролактама.

Полимеризация и последующую термообработку проводили в сушильном шкафу при температуре 120 °С в течение 3 ч.

Из полученных заготовок вырезали образцы для трибологических испытаний.

В связи с тем, что трибологические свойства полиамидов являются одними из важнейших при их выборе в качестве конструкционного полимера, решено проводить оценку полученных материалов именно с учетом поведения их при трении. Полученные данные испытаний на трение, представлены на рис. 1 и 2.

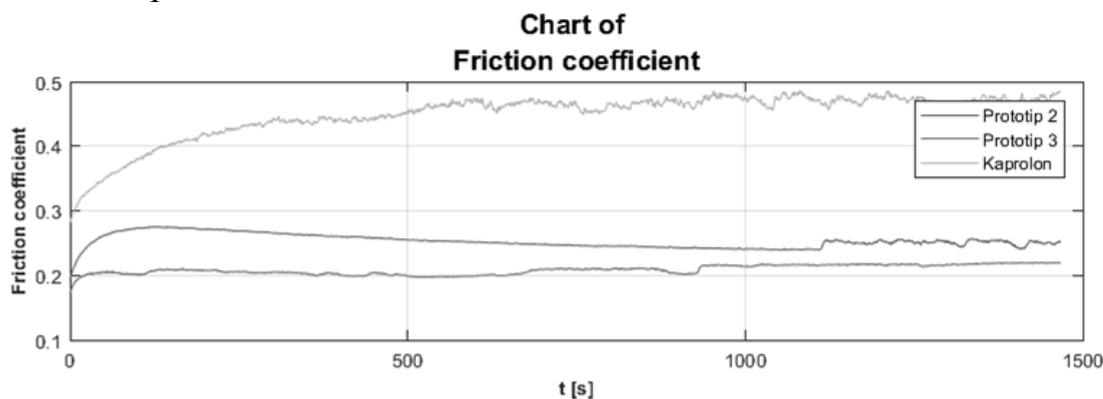


Рис. 1. График изменения коэффициента трения

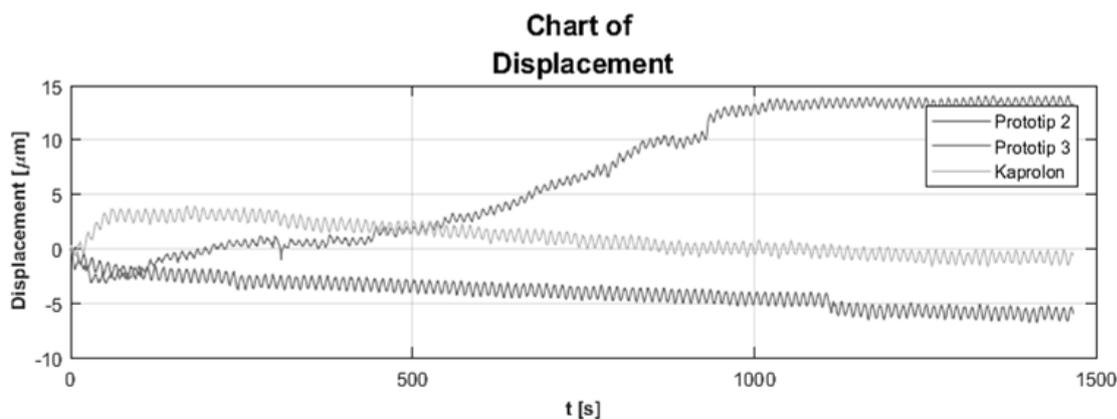


Рис. 2. График изменения линейного износа

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Показана принципиальная возможность разрушения структуры стружки ТПУ под действием ϵ -капролактама при соотношении 60:40 % по массе (стружка ТПУ: ϵ -капролактама), выше которой образование гомогенного продукта деструкции не происходит.

2. На основе изучения трибологических характеристик показана возможность использования продуктов деструкции стружки ТПУ в качестве компонента синтеза полиамида-6 блочного без ухудшения свойств. При этом оптимальной добавкой является 12 %.

3. Используемая технология позволит перерабатывать отходы механической обработки ТПУ.

4. Необходимы дальнейшие исследования для поиска оптимума в интервале 12% – 25% добавки продукта амидолиза, а также объяснения эффекта возрастания износа для прототипа 3.

Доклад выполнен под руководством к.т.н., доцента Ю.М. Бережного.

Список источников

1. Пат. № 2064415 С1 Российская Федерация, МПК В29В 9/06. СПОСОБ ГРАНУЛИРОВАНИЯ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ : 94000733/26 : заявл. 10/01/1994 : опубл. 27.07.1996 / Самигуллин Фаат Кафизович, Страхов Владимир Владимирович, Ильин Михаил Иванович, Житинкин Альберт Александрович, Куприянов Вадим Иванович; заявитель Самигуллин Фаат Кафизович, Страхов Владимир Владимирович, Ильин Михаил Иванович, Житинкин Альберт Александрович, Куприянов Вадим Иванович.

2. Использование продуктов амидолиза литьевого полиуретана / Л.Ш. Садыкова, А.И. Родионова, Р.Р. Спиридонова и др. // Вестн. Казанского технологического университета. 2010. №2.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОКСИДА МАГНИЯ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

А.И. Изварин, П.О. Орловский

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Проведены исследования по влиянию оксида магния на физические свойства геополимерного материала на основе золошлаковых отходов.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, геополимерные материалы, вспенивание, оксид магния

Введение. Золошлаковые отходы (ЗШО) – это минеральные несгорающие части угля, образующаяся в топках ТЭЦ: смесь золы и шлака и угольного остатка в виде камней [1]. На основе золошлаковых отходов возможно изготовление строительных материалов, таких как кирпича, цемента, бетона и геополимеров [2]. По химическому составу золошлаковые отходы представляют собой сложную алюмосиликатную смесь, в которой, преимущественно, содержатся 45 – 60 % SiO_2 , 10 – 30 % Al_2O_3 , и в незначительном количестве оксиды железа, кальция и магния, а также серы [3]. В России ежегодно образуется около 30 млн т. золошлаковых отходов, в связи с чем особенно актуальным является поиск новых путей их утилизации.

Геополимеры – это стеклокристаллические алюмосиликатные материалы, которые состоят из цепочек тетраэдров $[\text{SiO}_4]$ и $[\text{AlO}_4]$, образующих трёхмерные структуры. Получение вспененных геополимеров открывает широкие возможности для использования их в строительстве энергоэффективных зданий.

Целью данной работы является исследование влияния оксида магния на физические свойства геополимерных материалов на основе золошлаковых отходов.

Материалы и методы. Для исследования влияния оксида магния на структуру и свойства пористых геополимеров в качестве основного материала использовали золошлаковые отходы Новочеркасской ГРЭС.

Синтез вспененных геополимерных материалов осуществляли по следующей технологии: золошлаковые отходы сушили до постоянной массы, в дальнейшем измельчали их до размера частиц менее 250 мкм. Готовили активизирующий раствор. В качестве активизирующего вещества использовали смесь жидкого стекла и 12 М раствора NaOH, который готовили в отдельной емкости. Полученный раствор смешивали с навеской золошлакового отхода. Перемешивание геополимерной суспензии вели в течение 2 минут механическим способом. После приготовления смеси в состав добавляли прообразователь в виде порошка алюминия, а также в качестве вещества снижающего усадку оксид магния. Далее смесь перемешивали еще 30 секунд

при тех же условиях. Полученную геополимерную смесь помещали в силиконовые кубические формы с длиной ребра 30 мм и подвергали отверждению в сушильном шкафу при температуре 80 °С в течение 8 часов. Компонентный состав сырьевой смеси приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Компонентный состав пористых геополимерных материалов, % по массе

Состав	ЗШО	Гидроксид натрия	Жидкое стекло	Аллюминиевая пудра	Оксид магния
1	72	3	22	2	1
2	71	3	22	2	2
3	70	3	22	2	3

Среднюю плотность образцов ρ , кг/м³, определяли по формуле

$$\rho = \frac{m}{V} \cdot 1000,$$

где m – масса образца, г; V – объем образца, см³.

Прочностные характеристики определяли с помощью испытательного пресса марки ТП-1-350. Предельную прочность на сжатие образцов R , МПа, рассчитывали по формуле

$$R = \frac{P}{S} \cdot 1000,$$

где P – сжимающая нагрузка, кН; S – площадь образца, м².

Результаты и обсуждение. На основе представленных компонентных смесей и разработанной технологии, описанной ранее, были получены образцы со структурой, представленной на рис. 1.

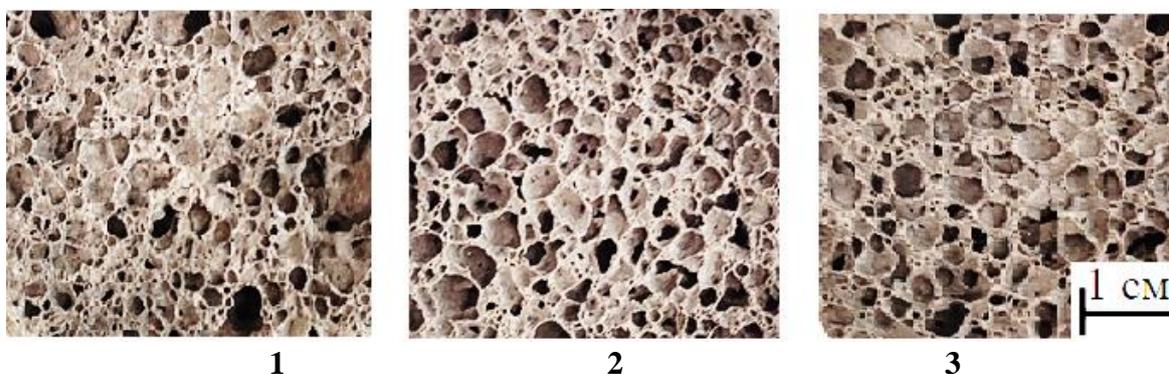


Рис. 1. Внешний вид синтезированных образцов

Таблица 2 – Усреднённые характеристики синтезированных образцов

Состав	Плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа
1	398 ± 15	0,96 ± 0,06
2	354 ± 11	0,84 ± 0,07
3	321 ± 12	0,73 ± 0,05

Как видно из полученных данных, при увеличении содержания оксида магния плотность образцов уменьшается, как и прочность на сжатие. Средний размер пор во всех образцах находится в пределах 1–3 мм

Заключение. Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что оксид магния показал себя как хорошую добавку для снижения усадки геополимерной смеси. Добавление 3 % оксида магния позволило получить наилучшие показатели плотности 321 ± 12 кг/м³ при прочности на сжатие $0,73 \pm 0,05$ МПа.

Список источников

1. Конструкционные геополимерные материалы на основе отходов угольной энергетики / Е.А. Яценко, Б.М. Гольцман, Л.А. Яценко, А.И. Изварин // XII Междунар. Курнаковское совещание по физико-химическому анализу: сб. статей, Санкт-Петербург, 27–29 сентября 2022 года. СПб. 2022. С. 90–92.

2. Исследование структуры и свойств вспененных геополимерных материалов на основе отходов твердотопливной энергетики / Е.А. Яценко, А.И. Изварин, С. Чаудхари, В.С. Яценко // Вестник современных технологий. 2023. № 4(32). С. 35–40.

3. Черенцова А.А., Олесик С.М. Оценка золошлаковых отходов как источник загрязнения окружающей среды и как источник вторичного сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № S3. С. 230–243

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПЛАСТМАСС И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

М.А. Ракульцева

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Основные проблемы рециклинга отходов пластмасс и возможные пути решения.

Ключевые слова: переработка отходов, рециклинг, изделия из пластмасс, вторичное сырье, полимерные материалы

Каким бы длительным не был срок использования изделий из пластмасс, но он заканчивается и встает вопрос о дальнейшей утилизации этого отхода. Одним из перспективных направлений в наше время является рециклинг, который позволяет дать отходам вторую жизнь в виде полезной продукции.

Примерами изделий, которые со временем становятся твердыми коммунальными отходами (ТКО), могут быть упаковочные пленки, пластиковые стулья, детали различных игрушек, мусорные баки, бутылки, трубы и другие предметы из ПЭТ (полиэтилентерефталат), ПЭ (полиэтилен), ПП (полипропилен), ПС (полистирола) и других пластмасс.

В наше время компании, занимающиеся переработкой отходов пластмасс, встречаются с рядом проблем, которые усложняют их работу и нарушают стабильность производственных процессов. Рассмотрим наиболее часто встречающиеся проблемы на производственных линиях по переработке пластиковых отходов и возможности их устранения.

Загрязненность перерабатываемых отходов пластмасс. Грязь, остатки пищи, масла и другие примеси, а также частицы инородного пластика могут сильно загрязнить гранулят, что в свою очередь приводит к снижению его качества вплоть до невозможности использования.

Самое простое решение этой проблемы – убедиться в том, что отходы пластмасс очищены, отсортированы по виду и подсушены, прежде чем они будут отправлены на переработку [3].

Перегрев исходного материала. Перегрев пластиковых отходов при их предварительной подготовке зачастую приводят к частичной деструкции материала, что в свою очередь ухудшает его пригодность для вторичного использования, а также снижает качество конечного продукта.

Решением этой проблемы является установка и автоматического поддержания нужной температуры на конкретных секциях частях технологических линий переработки, своевременное калибрование охлаждающих и нагревательных элементов [1].

Липкость гранулята. Может быть, несколько причин по которым полученные в результате обработки гранулы прилипают друг к другу с образованием агломератов [1]. Самым распространенным из них является повышенная температура в экструдерах и плохое охлаждение гранул.

Решением этой проблемы, как и в случае перегрева материала является установка надлежащих температурных параметров в экструдерах в зависимости от вида перерабатываемого материала и поддержание в заданном уровне температуры охлаждающей жидкости или воздуха в оборудовании с воздушным охлаждением [3].

Разнородность форм и размера гранул. Именно однородность формы и размер конечных гранул является наиболее важным показателем качества гранулята. Многие факторы, включая нестабильность подачи исходного сырья и плохую систему резки экструдата на гранулы, являются распространенными причинами этого дефекта.

Стабилизация подачи материала, обеспечение плавного течения расплава при правильном температурном режиме и использование автоматической системы резки гранул с регулируемой скоростью давления прижима способствуют решению рассматриваемой проблемы [2].

Налаженный технологический процесс переработки отходов из пластмасс, исключая рассмотренные в данной статье проблемы позволит подарить отходам вторую жизнь в виде вторичного пластика, стабильно производить высококачественный продукт, и снизить загрязнение отходами окружающую нас среду.

Список источников

1. Научно-практический журнал Твердые бытовые отходы. 2024. Вып. № 4. <https://www.solidwaste.ru/>
2. Ложечко Ю.П. Литье под давлением термопластов: справ. Пособие; 2-е изд. СПб.: ЦОП «Профессия» 2019. 240 с.
3. Рудольф Н., Кизель Р., Аумнате Ш. Рециклинг пластмасс. Экономика, экология и технологии переработки пластмассовых отходов. 2018. 176 с.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БУРОВЫХ ШЛАМОВ ДЛЯ СИНТЕЗА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Н.Д. Терехова, В.А. Смолий

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Проведена оценка физико-химических свойств буровых шламов для синтеза функциональных материалов для дорожного строительства.

Ключевые слова: буровой шлам, функциональные материалы, нефтеотходы

Введение. В настоящее время в России добывается 550 млн т нефти из 2350 нефтяных месторождений, играющих важную роль в экономическом развитии страны. В России выделяют следующие нефтегазоносные провинции (НГП): Западно-Сибирскую, Тимано-Печорскую, Волго-Уральскую, Прикаспийскую, Северо-Кавказско-Мангышлакскую, Енисейско-Анабарскую, Лено-Тунгусскую, Лено-Вилуйскую, Охотскую, а также нефтегазоносные области: Балтийскую, Анадырскую и Восточно-Камчатскую.

В процессе бурения и эксплуатации нефтяных и газовых скважин образуются промышленные отходы бурения. В России ежегодно образуется около 8,92 млн т. отходов, в связи с чем особенно актуальным является необходимость поиска новых путей их утилизации [1].

Буровые отходы представлены следующими основными разновидностями: буровые сточные воды, отработанные буровые растворы (буровые шламы). Буровой шлам – это жидкое вещество, которое образуется при бурении скважин. Он состоит из воды, глинистых минералов, нефтепродуктов, частиц отбитой горной породы и истёртого рабочего инструмента. Следует отметить, что буровой шлам относят к вторичным материальным ресурсам, которые по своему химическому составу могут применяться при производстве строительных материалов вместо природного сырья [4].

В настоящее время наиболее востребованной областью, где могут применяться буровые шламы, является дорожное строительство. Их можно применять в качестве альфабетонных смесей или органического вяжущего для укрепления местных грунтов. Для федеральной трассы, по которой постоянно движется не только легковой, но и грузовой транспорт, можно регулировать толщину некоторых технологических слоев или использовать более качественные материалы, путем увеличения их предельной прочности на сжатие.

Применение буровых шламов в дорожном строительстве позволит сохранить природные ресурсы, снизить стоимость строительства, капитального ремонта или реконструкции автомобильных магистралей [2].

Материалы и методы. Для исследования дорожного покрытия на структуру и свойства использовали буровые шламы Морозовского месторождения (Краснодарский край, Россия). Выбор данного шлама для исследования обусловлен тем фактором что, Морозовское месторождение является крупнейшим нефтяным месторождением с высокими геологическими запасами и эксплуатационным фондом скважин на территории ЮФО. Был исследован минералогический и гранулометрический состав бурового шлама.

Для определения минерального состава проб была использована стандартная методика, применяемая для исследования минерального сырья (ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных материалов»). Из аналитической пробы были отобраны отдельные навески в соответствии с методикой испытаний [3].

Гранулометрический анализ проводился по методике с целью получения информации о распределении по размерам частиц в порошках, суспензиях и в других дисперсных объектах. Зерновой состав определялся путем отсева пробы на стандартном наборе сит. Пробу просеивалась на ударном ситовом анализаторе (АС-200У, НПК «Механобр-техника») через сита с отверстиями сеток 1,0, 0,5, 0,25 и 0,1 мм, собранные последовательно в колонку. Процесс считался законченным, когда не наблюдается падение зерен. Отношение массы фракции к массе пробы дает ее содержание в пробе.

По результатам просеивания на каждом сите определялся частный остаток a_i , %, по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{m} 100,$$

где m_i – масса остатка на данном сите, г; m – масса пробы, г.

Пробы отбирали на содержание пылевидных и глинистых частиц. Наличие пылевидных и глинистых частиц включалось при расчете результатов отсева в массу частиц, проходящих через сито с размером отверстий 0,1 мм. Из лабораторной пробы от каждой фракции испытываемой пробы отбирались аналитические пробы. Определение содержания пылевидных и глинистых частиц определялось по изменению массы пробы после отмучивания пылевидных и глинистых частиц (размер частиц менее 0,05 мм). Для этого используется аналитическая проба, применяемая при определении зернового состава, высушенная до постоянной массы. Проба помещается в сосуд для отмучивания и замачивается до полного размокания глинистой пленки или комков глины. Содержимое интенсивно перемешивается для того, чтобы пылевидные и глинистые частицы образовали суспензию. Далее проба промывается водой и образовавшуюся суспензию также сливают на набор сит. Процесс повторяется до тех пор, пока вода не становится прозрачной. После этого остаток, находящийся в сосуде для промывки, соединяют с частицами, оставшимися на обоих ситах и высушивают до постоянной массы.

Содержание в пробе пылевидных и глинистых частиц П, % по массе, определяют по формуле

$$П = \frac{m - m_1}{m},$$

где m – первоначальная масса пробы, г; m_1 – масса пробы после отмучивания, г.

Целью рентгенофазового анализа является идентификация веществ в смеси по набору его межплоскостных расстояний и относительным интенсивностям соответствующих линий на рентгенограмме. Рентгенофазовый анализ проводился на рентгеновском дифрактометре *ARL X'TRA (Thermo Fisher Scientific)*, входящего в ЦКП «Нанотехнологии» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова.

Результаты и обсуждение. Согласно вышеописанной методике проведения гранулометрического анализа, были получены данные, представленные в табл. 1. Известно, что на гранулометрический состав влияет состав разбуриваемых пород, химический состав промывочных жидкостей, тип и диаметр породоразрушающего инструмента.

Таблица 1 – Результаты гранулометрического анализа

Проба, фракция	Масса, г	Частный остаток, a_i , %	Масса отмученного остатка (алевроитовая фракция), г	Пылевидная и глинистая фракция, П, г	Алевроитовая, %	Глинистая, %
№1 к	140,42	–	13,6	–	4,16	95,84
> 1	52,16	37,15	–	–	–	–
1-0,5	38,27	27,25	5,58	21,67	6,32	93,68
0,5-0,25	25,72	18,32	3,90	14,42	4,42	95,58
0,25-0,1	18,37	13,08	2,88	10,20	3,26	96,74
0,1-0,05	5,90	4,20	1,20	3,00	1,36	98,64
№2 ф	96,35	–	31,04	–	8,80	91,20
> 1	–	–	–	–	–	–
1-0,5	35,91	37,27	13,31	23,96	13,81	86,19
0,5-0,25	25,63	26,60	4,88	21,72	5,06	94,94
0,25-0,1	22,90	23,77	8,31	15,46	8,62	91,38
0,1-0,05	11,91	12,36	4,54	7,82	4,71	95,29

В первую очередь необходимо указать на преобладание в материалах проб глинистой составляющей: 95,84 и 91,2 %, соответственно. Согласно результатам разделения фракций по крупности псаммитовой (песчаной) части пробы выявлено, что в пробах преобладают более крупные фракции.

Согласно проведенному минералогическому анализу установлено, что в алевроитовой части (> 0,05 мм) заметно преобладание полиминеральных агрегатных сростаний. В качестве обломков присутствуют песчаники, алевролиты, аргиллиты тонкослоистые с наличием слюдястого и углистого материала, а также обломки кварц-полевошпатового агрегата внешний вид которых представлен на рис. 2.

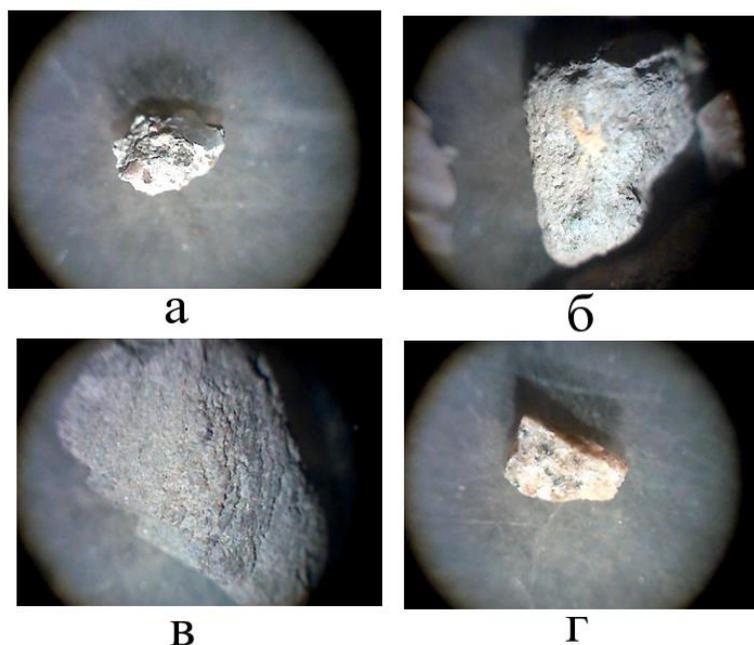


Рис. 2. Установленная минеральная составляющая в буровом шламе:

а – песчаник кварцевый; *б* – алевролит; *в* – алевролит слюдистый;
г – обломок слюдисто-кварц-полевошпатового агрегата (гранит)

Результаты рентгенофазового анализа представлены в виде рентгенограммы на рис. 3.

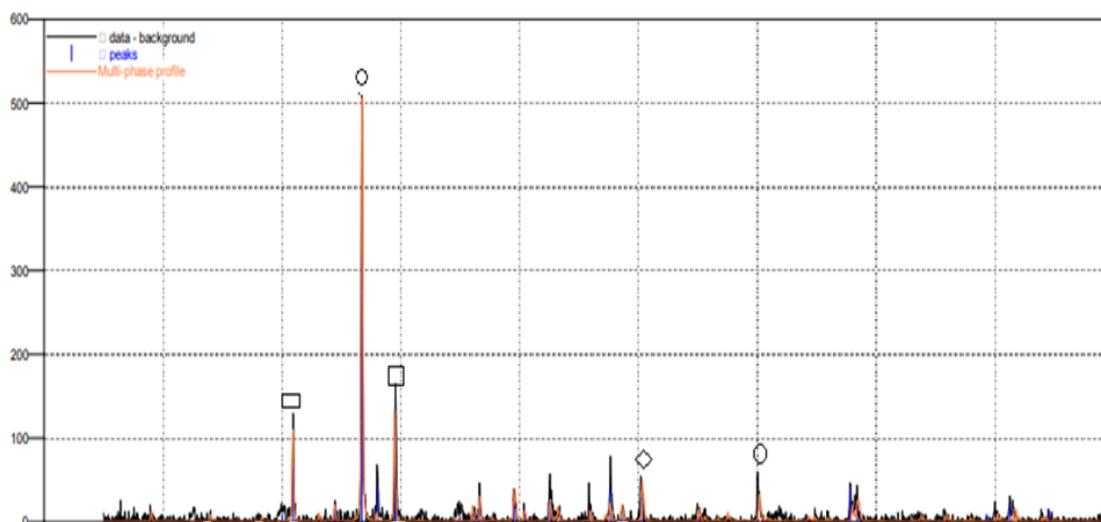


Рис. 3. Рентгенограмма бурового шлама Морозовского месторождения:

○ – кварц, □ – содалит, ◇ – каолинит

Основной фазой в исследуемом буровом шламе является α -кварц (α - SiO_2), находящийся в количестве около 25–30 %. Другими же фазами являются каолинит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и содалит ($3\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{NaCl}$).

Выводы. Исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

– по результатам рентгенофазового анализа в буровом отходе был идентифицирован α -кварц (α - SiO_2), каолинит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и содалит ($3\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{NaCl}$);

– по результатам гранулометрического состава в буровом шламе были выявлены крупные фракции;

– по результатам минералогического состава, было установлено присутствие песчаников, алевролитов, аргиллитов тонкослоистых с наличием слюдястого и углистого материала.

Буровой шлам Морозовского месторождения удовлетворяет требованиям в дорожном строительстве по фазовому и химическому составу, и может быть применен в качестве альфабетонных смесей или органического вяжущего для укрепления местных грунтов.

Список источников

1. Пичугин Е.А., Шенфельд Б.Е. К вопросу различия буровых и нефтяных шламов // Экология и промышленность России. 2017. № 7. С. 14–19.

2. Дьяченко Г.П. Внедрение технологии переработки буровых шламов // Экология производства. 2009. № 8. С. 64–68.

3. ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний». М.: АО «Кодекс», 1997.

4. Рязанов Я.А. Энциклопедия по буровым растворам. Оренбург: Изд-во Летопись, 2005. 644 с.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОИСКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РЫНОЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ ЮВЕЛИРНОЙ ОТРАСЛИ

П.А. Черноусова, М.А. Комиссарова

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Проводится анализ использования основных приемов и методов экономико-математической оценки эффективности работы предприятий ювелирной промышленности.

Ключевые слова: потенциал, методика, конкурентоспособность, ресурсы, система управления

В настоящее время сложно чётко определить подходы к оценке рыночного потенциала предприятия, так как существует значительное количество различных вариантов, которые порой предполагают одновременное использование огромного количества различных инструментов, приёмов и методов. Однако, несмотря на разнообразие предлагаемых методов, на сегодняшний день отсутствует единая классификация существующих методов оценки. При выборе наиболее привлекательного метода предлагается использование метода анализа иерархий (МАИ).

Метод Анализа Иерархий (МАИ) – математический инструмент системного подхода к решению проблем принятия решений. МАИ не предписывает лицу, принимающему решение (ЛПР), какого-либо «правильного» решения, а позволяет ему в интерактивном режиме найти такой вариант (альтернативу), который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями к ее решению [1].

Этот метод разработан американским ученым Томасом Л. Саати в 1970 году, с тех пор он активно развивается и широко используется на практике. Метод анализа иерархий можно применять не только для сравнения объектов, но и для решения более сложных проблем управления, прогнозирования и др. [2]. Основным достоинством метода является высокая универсальность – метод может применяться для решения самых разнообразных задач: анализа возможных сценариев развития ситуации, распределения ресурсов, составления рейтинга клиентов, принятия кадровых решений и др. Недостатком метода анализа иерархий является необходимость получения большого объема информации от экспертов. Метод в наибольшей мере подходит для тех случаев, когда основная часть данных основана на предпочтениях лица, принимающего решения, в процессе выбора наилучшего варианта решения из множества существующих альтернатив [3].

Вычислительные аспекты метода связаны с операциями над матрицами парных сравнений (суждений экспертов). В результате математических операций над каждой из матриц суждений могут быть вычислены приоритеты сравниваемых элементов-объектов данного уровня иерархии и

степень согласованности суждений. Суммарные (общие) приоритеты нижних элементов объектов могут быть найдены в результате выполнения арифметических действий (умножения) над соответствующими матрицами суждений для каждого элемента-объекта вышестоящих уровней. По аналогичным правилам, только над матрицами-столбцами, составленными из числовых мер согласованности для отдельных матриц суждений (также для каждого из вышестоящих элементов-объектов), вычисляется мера согласованности иерархии в целом [4].

В типичной ситуации принятия решения:

- рассматриваются несколько вариантов решения;
- задан критерий, по которому определяется в какой мере то или иное решение является подходящим;
- известны условия, в которых решается проблема, и причины, влияющие на выбор того или иного решения [5].

Результатами применения МАИ являются:

- установление иерархии целей, факторов, критериев, факторов (действующих сил), альтернатив и сценариев по обсуждаемой проблеме;
- выявление приоритетов элементов каждого уровня иерархии [6].

Целью использования метода анализа иерархий является нахождение наиболее привлекательной методики для оценки рыночного потенциала предприятия. Чаще всего применяется балльная методика оценки рыночного потенциала предприятий, разработанная Оренбургским государственным институтом менеджмента, однако она применима и для оценки рыночного потенциала предприятия ювелирной отрасли.

Для комплексной оценки уровня рыночного потенциала предприятий, целесообразно использовать индикаторы, наиболее полно отражающие возможности предприятия по выпуску продукции. Важной особенностью предлагаемых целевых индикаторов является возможность учета не только количественных, но и качественных характеристик структурных элементов рыночного потенциала предприятий. Это является спецификой данного метода [9]. Индикаторы оценки рыночного потенциала предприятия представлены в табл. 1.

Данная методика балльной оценки рыночного потенциала предприятий основана на экспертной оценке весовых значений структурных элементов, образующих рыночный потенциал и соотношении фактических рыночных показателей к целевым индикаторам [7].

Применение данной методики оценки производственного потенциала, адаптированной и развитой для оценки рыночного потенциала предприятий, предполагает выполнение следующего алгоритма действий [8]:

Этап 1. Отбор структурных элементов рыночного потенциала.

Оценку уровня рыночного потенциала предлагается рассчитывать по пяти структурным элементам, его образующим, с целью более точной и всесторонней оценки. Как мы уже отмечали, к структурным элементам рыночного потенциала относятся: система управления, маркетинг предприятия, ресурсы, конкурентоспособность товара и предприятия, торгово-сбытовая

деятельность. Эти элементы, на наш взгляд, наиболее полно отражают структуру рыночного потенциала предприятия, в т.ч ювелирной отрасли, и именно они легли в основу разработки методики оценки рыночного потенциала предприятия ювелирной отрасли.

Этап 2. Определение показателей, характеризующих состояние структурных элементов рыночного потенциала предприятий.

Для комплексной оценки уровня рыночного потенциала предприятий, целесообразно использовать индикаторы, наиболее полно отражающие возможности предприятия по выпуску продукции. Важной особенностью предлагаемых целевых индикаторов является возможность учета не только количественных, но и качественных характеристик структурных элементов рыночного потенциала предприятий. Это является спецификой данного метода [9]. Индикаторы оценки рыночного потенциала предприятия представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Индикаторы оценки рыночного потенциала предприятия

Структурный элемент	Индикатор оценки
Система управления	Объемы продаж предприятия
	Норма прибыли предприятия
	Рентабельность продаж
Маркетинг	<i>ROI (Return on Investment)</i> – окупаемость инвестиций
	% вложений на рекламу от общей выручки компании
	Доля рынка продукции, ее динамика
Ресурсы	Уровень обеспеченности материальными ресурсами
	Уровень компетенций персонала
	Уровень технологичности предприятия
Конкурентоспособность товара и предприятия	Уровень сегментированности рынка
	Уровень удовлетворенности потребителей товарами фирмы
	Уровень активности потребности среди потенциальных потребителей
Торгово-сбытовая деятельность	Прирост количества клиентов
	Рентабельность затрат по стимулированию сбыта
	Рентабельность затрат по средствам сбыта, в т.ч каналам продвижения товара

Этап 3. Определение значений и весов целевых индикаторов оценки рыночного потенциала по каждому структурному элементу.

Определение значений целевых индикаторов предлагается проводить на основе сопоставления фактических и плановых результатов от рыночной деятельности предприятия. Весовые коэффициенты статистической позиции в плановых и фактических величинах показателя могут отличаться, если экспертная группа, проводящая расчеты, примет по этому поводу мотивированное решение [10, 11].

При этом особого подхода требует расчет целевых индикаторов, количественные значения которых невозможно определить на основе формируемых статистических данных предприятия. Для таких целевых индикаторов расчеты должны базироваться на экспертных оценках. Значение экспертной оценки предлагается принимать в пределах 1–5.

Для корректного расчета целевых индикаторов экспертами формируются веса для каждого типа данных в рамках структурного элемента рыночного потенциала. В случае недоступности необходимых статистических данных, сомнений в их достоверности или по другим обоснованным причинам решением экспертной группы часть целевых индикаторов, предусмотренных данным методом оценки, может быть заменена другими или исключена из расчета [12].

Этап 4. Определение и интерпретация значения комплексного интегрального показателя рыночного потенциала.

На данном этапе производится расчет по каждому целевому индикатору и структурному элементу рыночного потенциала предприятия. По результатам выполненных расчетов определяется комплексный интегральный показатель рыночного потенциала [13].

Алгоритм методики оценки рыночного потенциала предприятия ювелирной отрасли состоит из следующих этапов:

Этап 1. Отбор структурных элементов рыночного потенциала с учетом специфики ювелирной отрасли.

С целью более точной оценки рыночного потенциала предприятий ювелирной отрасли, оценку целесообразно проводить по пяти структурным элементам:

- система управления;
- маркетинг;
- ресурсы;
- конкурентоспособность товара и предприятия;
- торгово-сбытовая деятельность.

В системе управления формулируется миссия, вырабатывается стратегия дальнейшего развития, определяются цели производственной деятельности предприятия на основе стратегического анализа организационной среды, реализация которых осуществляется за счет имеющихся трудовых, информационных, финансовых, материальных и других ресурсов.

Маркетинг – представляет собой способность предприятия осуществлять исследование внешней среды (конъюнктуры рынка) с целью выявления и обеспечения конкурентоспособности товаров и инноваций.

Ресурсы отражают способность предприятия удовлетворять потребности потребителей с точки зрения соответствия материалам, дизайнерским решениям, инновационным подходам.

Конкурентоспособность товара и предприятия – отражают внутренние возможности компании по усилению своей конкурентной позиции, а также внешние факторы способствующие реализации стратегии фирмы.

Торгово-сбытовая деятельность предприятия обеспечивает доведение товара до потребителя созданием каналов распределения, разработкой и оптимизацией методов товародвижения, и созданием объектов по реализации товара и получения новой стоимости предприятия.

Этап 2. Определение основных индикаторов оценки рыночного потенциала предприятия ювелирной отрасли.

При определении основных индикаторов оценки рыночного потенциала предприятий предлагается выбор наиболее важных индикаторов для оценки рыночного потенциала предприятия.

Из всего количества показателей, характеризующих различные аспекты деятельности каждого структурного подразделения, отбирается группа показателей на основе следующих принципов:

- отсутствие взаимозависимых показателей;
- отсутствие дублирующих показателей того же;
- возможность использования по принципам расчета на всех стадиях управления.

Подэтап 3.3. – расчет обобщающих показателей рыночного потенциала предприятия по каждому структурному элементу.

Подэтап 3.4 – расчет интегрального показателя.

С помощью веса индикаторов и оценок экспертов, находим рыночный потенциал по каждому структурному элементу.

Также следует отметить ресурсы как структурный элемент рыночного потенциала предприятий, представляющие собой совокупность различных видов ресурсов (материальных, финансовых, трудовых, интеллектуальных), которые могут быть использованы для решения какой-либо задачи, достижения поставленной цели в деятельности предприятия.

Дальнейшие этапы подразумевают проставление баллов, нахождение не только интегрального показателя как в применяемой модели, но и расчет рыночного потенциала по каждому структурному элементу.

Итоговое значение рыночного потенциала можно использовать при сравнительном анализе своего предприятия и предприятий конкурентов.

Балльный метод послужит основой оценки рыночного потенциала предприятия и выявит узкие места. После проведения оценки рыночного потенциала балльным методом, существует возможность, либо провести более глубокий анализ в отстающем сегменте структурного элемента, либо дать рекомендации по улучшению состояния в данном сегменте.

Метод анализа иерархий служит наиважнейшим инструментом при поиске наиболее привлекательной методики оценки рыночного потенциала предприятия. В данном методе экспертам предлагается решать отдельные задачи попарного сравнения критериев и альтернатив. Прямое назначение метода – совместная работа группы экспертов, объединенных единой целью, по согласованию мнений, зачастую противоречивых, по определенной проблеме. Метод анализа иерархий позволяет группе экспертов взаимодействовать по обсуждаемой проблеме, модифицировать свои суждения и в результате объединять групповые суждения рациональным образом.

Список источников

1. Минаков В.Ф. Метод анализа многомерных иерархий. [Электронный ресурс] URL: <http://nauka-rastudent.ru/19/2803/> 2015. № 7 (19). 31 с.
2. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 2005. 321 с.

3. Абакаров А.Ш., Сушков Ю.А. Двухэтапная процедура отбора перспективных альтернатив на базе табличного метода и метода анализа иерархий // Бюллетень СпбГУ, 2008. №7. 231 с.
4. Разиньков П.И. Производственный потенциал предприятия. Формирование и использование: монография. Тверь: ТГТУ, 2011. 131 с.
5. Колпаков В.М. Теория и практика принятия управленческих решений: учебник. Киев: МАУП, 2007. 342 с.
6. Москвин Б.В. Теория принятия решений: учебник. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2006. 234 с.
7. Банько Н.А., Карташов Б.А., Яшин Н.С. Управление персоналом: учеб. пособие. РПК «Политехник», Волгоград, 2007. 231 с.
8. Колодина Н.Ф. Потенциал развития агропродовольственного рынка Российской Федерации // Интеллект. Инновации. Инвестиции, 2011. № 4 (2). С. 56–61.
9. Мудрова С.В. Управление предприятием в условиях экономических изменений / Вестн. Российской эконом. акад. имени Г. В. Плеханова. 2011. № 4(40). С. 23–54.
10. Кузьбожев Э.Н., Световцева М.Г., Бабич Т.Н. Системный или комплексный анализ? // Экономический анализ: теория и практика. 2006. № 9. С. 56–75.
11. Экономический анализ: учебник для вузов / Под ред. Л.Т. Гиляровской. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. 527 с.
12. Литвак Б.Г. Экспертная информация: методы получения и анализа. М.: Радио и связь, 2012. 124 с.
13. Развитие методологии формирования рыночного потенциала предприятия [Электронный ресурс] URL: <http://unitech-mo.ru/upload/iblock/b2c/b2c818aed8a89674284cbaf8bfcfb567c.pdf>

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ РЕЦИКЛИНГА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

М.В. Передерий, В.Е. Яркина

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассматривается актуальная задача повышения эффективности всей цепочки поставки промышленных отходов путем оптимизации каждого из этапов логистического процесса. Авторы уделяют внимание этапу выбора исполнителей каждого звена транспортно-технологической схемы доставки промышленных отходов путем оптимизации, используя количественные, качественные и рейлерные критерии отбора. По мнению авторов, создание базы данных, состоящих из цифровых профилей исполнителей разных видов транспорта и других участников цепи поставки ускорит процесс внедрения технологии *Blockchain* в рециклинг промышленных отходов и позволит снизить транспортную составляющую в стоимости готовой продукции, повышая ее конкурентоспособность.

Ключевые слова: рециклинг промышленных отходов, оптимизация логистического процесса, критерии оптимизации, технология *Blockchain*

Рециклинг отходов является одним из ключевых аспектов устойчивого развития промышленных предприятий РФ. В условиях растущей осознанности важности сохранения окружающей среды, природы и уменьшения отрицательного воздействия человеческой деятельности на экосистему, рециклинг отходов принимает всё более значимую роль в основных бизнес-процессах промышленных предприятий. Рециклинг отходов позволяет использовать вторичные сырьевые материалы, что снижает потребление первичных ресурсов, экономит энергию и снижает количество отходов, направляемых на свалку, способствует сокращению экологического и социального воздействия промышленных предприятий. Вместо выбрасывания отходов на свалку, где они могут загрязнять почву, воду, воздух, рециклированные материалы и сырьё могут быть повторно использованы в производственном процессе. Это позволяет снизить негативное воздействие промышленных предприятий на окружающую среду и улучшить их имидж в глазах общества.

Любой рециклинг промышленных отходов связан с логистическим процессом. От взаимосвязи отдельных видов транспорта, технологических операций по обработке грузов, исполнителей отдельных транспортных услуг зависит успех и окончательный результат всего процесса доставки грузов от грузоотправителя к грузополучателю. Внедрение технологии *Blockchain* позволит совершенствовать многоэтапный логистический процесс, обеспечивая единое информационное поле, снижать трансформационно-транзакционные затраты [1]. Для повышения эффективности транспортно-логистических услуг необходимо оптимизировать работу на каждом из этапов всей цепи поставки применяя методы оптимизации и сравнительного анализа. Прогресс в совершенствовании транспортно-логистической

отрасли налицо, однако, необходимо единое информационное пространство для выстраивания цепочек поставок с использованием технологии *Blockchain* [2]. Для создания транспортно-технологических моделей по доставке грузов, с применением разных видов транспорта, с выполнением всех необходимых транспортных операций с грузом необходимо построить алгоритм всего перевозочного процесса «от двери до двери» и затем проводить оптимизацию каждого из этапов, создавая оптимальную цепь поставки.

Важным этапом выполнения перевозочного процесса является выбор непосредственных перевозчиков и компаний, занимающихся обработкой грузов на всем протяжении перевозочного процесса. Именно от выбора исполнителей зависит зачастую выполнение требований заказчиков, которые формируют целый комплекс дополнительных критериев для оптимизации всего процесса в целом. Впрочем, основные критерии, такие, как стоимость и время доставки, также во многом зависят от выбора перевозчика, поскольку логистическая отрасль чрезвычайно конкурентная.

Рассмотрим последовательность выбора исполнителей для выполнения перевозочного процесса, согласно определенным критериям заказчика.

Основной задачей является отобрать критерии, которые позволят сделать оптимальный выбор исполнителей [3]. Ранжирование критериев разделяют по их значимости и физическим характеристикам [4].

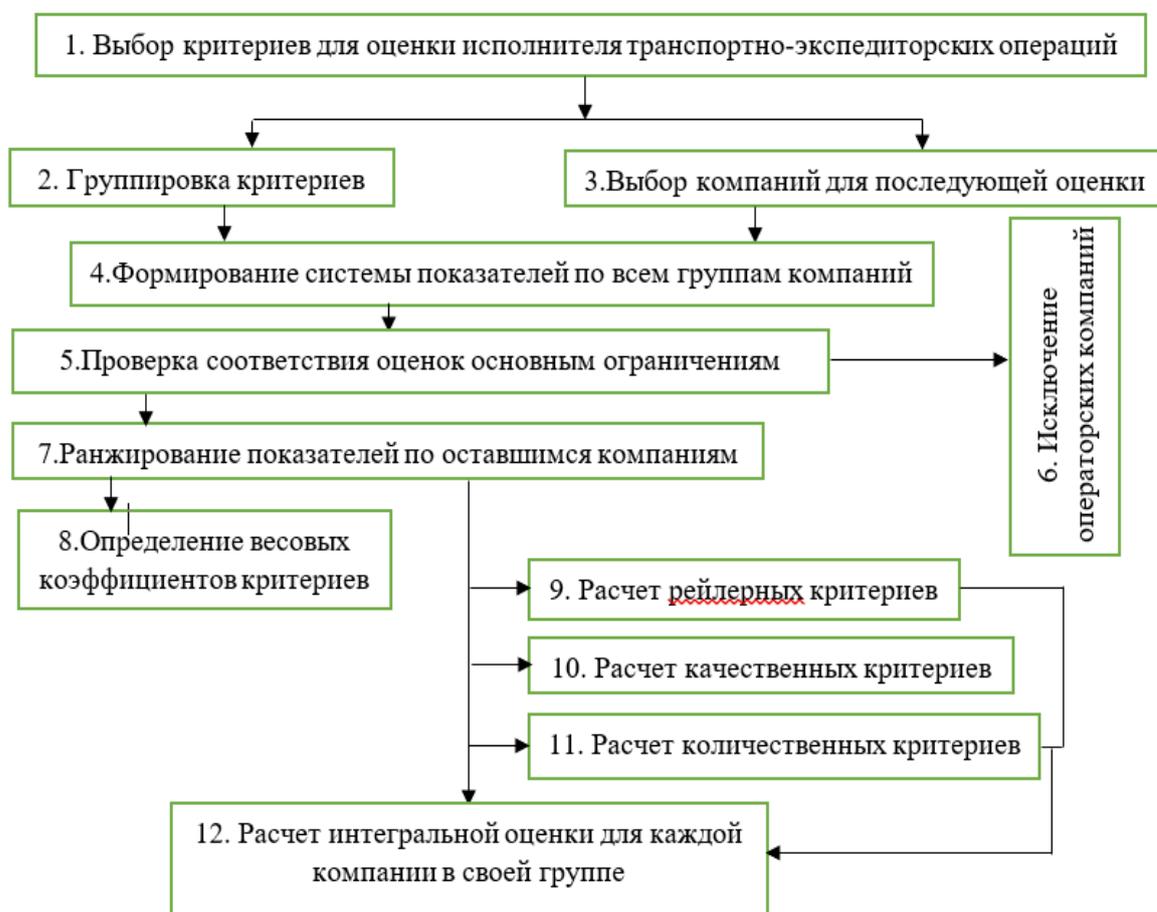


Рис. 1. Алгоритм выбора оптимального исполнителя транспортно-экспедиторских услуг

Как известно все критерии формируются по трем группам: количественные, качественные и рейлерные. Далее, с помощью экспертной оценки определяются значения каждого показателя a_{ij} по каждому из контрагентов [6].

Количественные критерии – определяются фактическими значениями критерия.

Качественные критерии просчитываются способом присвоения определенного балла от «Отлично» до «Удовлетворительно».

Рейлерные показатели имеют только две оценки: «Да» и «Нет».

Отбор претендентов среди исполнителей основывается на базе данных, которая формируется в рамках единой цифровой платформы, обеспечивающей логистическое обслуживание грузовладельцев [5].

Существует много методов для оценки критериев и ранжирования показателей. В логистике часто используют метод шкалы критериев выбора поставщика услуг, популярны метод многокритериальных взвешенных оценок и метод развертывания функции качества [6]. Рассмотрим метод парных сравнений. Распределение осуществляется с помощью матрицы, в строке и в столбце этой матрицы записываются номера всех критериев, а в соответствующих ячейках задается приоритет, выраженный в числах «0», «1», «2». Число «0» предполагает, что критерий в столбце является более важным; «1» устанавливается, когда критерии равны; и «2» означает, что критерий в строке больше, чем критерий в столбце. После установки всех приоритетов, когда матрица полностью заполнена, рассчитывается сумма по каждому критерию (по горизонтали). Ранг каждого критерия i , определяется по суммарной ценности, индекс с наибольшим значением является самым высоким рангом $i = 1$ и т.д. Если критерии равны по сумме, им присваивается одинаковый ранг.

Определение весовых коэффициентов, ω_i осуществляется для критериев качества с учетом их ранга по формуле

$$\omega_i = \Delta x * e^{-x_i},$$

где Δx – величина интервала деления шкалы удовлетворительных оценок, рассчитываемых с учетом размаха вариации качественных оценок, R и количества критериев по формуле

$$\Delta x = (\max - \min) / (1 + 3,321 \log n),$$

где n – общее количество показателей.

Для расчета весовых коэффициентов необходимо определить середины интервалов каждого критерия. Следующим шагом в решении этой задачи является нормализация показателей, то есть приведение значений всех показателей в единую систему измерений.

Нормирование рейлерных показателей заключается в следующем: при ответе «Да» принимают значение 1, при ответе «Нет» – значения «0». К таким показателям можно отнести наличие допуска по работе с опасными грузами или нахождение в реестре таможенных перевозчиков, или наличие

грузового оборудования высокой грузоподъемности для работы с контейнерами для стивидорных компаний, наличие лицензий на определенные виды страхования, к примеру, ответственности грузоперевозчика для страховых компаний и т.д.

Нормирование качественных показателей осуществляется с помощью функции желательности Харрингтона, которая позволяет привести качественные оценки в единую систему измерения количественных показателей от 0 до 1. Данная функция задается следующим уравнением:

$$z_i = \exp(-\exp(-y_i)),$$

где z_i – значение функции желательности; y_i – значение i -го критерия на кодированной шкале.

Для определения значения каждого критерия на кодированной шкале используются следующие данные для построения функции желательности (табл. 1).

Таблица 1 – Значения функции желательности

Интервал	Оценка качества
3-4	Отлично
2-3	Очень хорошо
1-2	Хорошо
0-1	Удовлетворительно
(-1)-0	Плохо
(-2)-(-1)	Очень плохо
(-3)-(-2)	Скверно

Используя интервальные значения для оценки качества, можно рассчитать значения функции желательности z_i для каждой компании.

Критерий «Качество сервиса при покупке транспортной услуги» также является качественным, поэтому имеет такой же алгоритм нормирования.

Стоимость и время определяются в каждом конкретном случае транспортно-технологической схемы для тех компаний, которые отвечают качественным и рейлерным показателям, поэтому они также требуют нормализации, которая выполняется с помощью опорного значения. Исходное значение может быть максимальным или минимальным, в зависимости от того, к какому "идеальному" значению стремятся индикаторы. Если опорное значение является максимальным, то все значения показателей делятся на него

$$a_{ij}^{\wedge} = a_{ij} / A_{i \max}.$$

Если же эталонное значение – это минимальное значение, то эталонное значение делится на все данные, занесенные в строку по этому критерию

$$a_{ij}^{\wedge} = A_{i \min} / a_{ij}.$$

Последним этапом в определении каждого исполнителя является расчет интегральной оценки C_j . Данный расчет производится с помощью формулы

$$C_j = \sum_{i=1}^n \omega_i a_{ij}.$$

Выбор исполнителей транспортно-экспедиторских услуг заканчивается заключением договоров. Однако, есть еще масса информации, которую необходимо знать в режиме онлайн перед тем, как приступить к заключению контракта и выполнению обязательств по нему. Например, есть ли свободные транспортные средства у перевозчика, где они находятся, есть ли свободные мощности в складских помещениях, есть ли свободные контейнеры необходимой номенклатуры и другие. Быстро и оперативно определить такую информацию позволят технологии больших данных. Алгоритмы *Big Data* позволяют обновлять аналитическую информацию в режиме, близком к реальному времени, что необходимо для построения цепочек поставки и принятия решений [7].

Резюмируя, можно сделать вывод, что для оптимизации логистических процессов при организации рециклинга промышленных отходов необходимо применение технологий анализа больших данных и, прежде всего технологии блокчейн, представляющей непрерывную последовательность блоков, которые содержат информацию и выстроены по определённым правилам. В данной базе-цепочке постоянно могут создаваться новые блоки, которые содержат в себе группу упорядоченных записей (транзакций) что позволяет расширять платформу и помогает новым участникам перевозочных процессов интегрироваться в общую систему, что неуклонно ведет к увеличению объема грузоперевозок при рециклинге промышленных отходов.

Список источников

1. Блокчейн: Схема новой экономики / М. Свон: [перевод с английского]. М.: «Олимп-Бизнес», 2017. 240 с.
2. Ефимов А.Д., Передерий М.В., Яркина В.Е. Роль цифровых технологий в развитии международных транспортных коридоров.
3. Яркин Е.К., Романенко В.Е., Мохов В.А. Оптимизация маршрутов грузовых мультимодальных перевозок // Тенденции развития науки и образования. 2020. №66-1. С. 55–59. doi: 10.18411/lj-10-2020-15, idsp: ljournal-10-2020-15
4. Супрун Ю.О. Анализ критериев выбора перевозчика // Системный анализ и логистика. СПб: ГУАП., 2019. Вып. №1(19). С. 31–38.
5. Никифорова Г.И. Построение дескриптивной модели логистической цепи доставки грузов при взаимодействии железнодорожного и морского транспорта // Изв. Петербургского ун-та путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2020. Т.17. Вып. 4. С. 545–551.
6. Салтыков С.А. Экспериментальное сопоставление методов взвешенной суммы, теории полезности и теории важности критериев для решения многокритериальных задач с балльными критериями // Управление большими системами. 2010. Вып. 29. С. 16–41.
7. Абдыкаримова А.Т., BIG DATA: проблемы и технологии // International Journal of Humanities and Natural Sciences, vol.5-1, Технические науки, DOI: 10.24411/2500-1000-2019-10859

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

Д.В. Яхонова, Г.Н. Земченко

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Фосфогипс является отходом, образующимся при производстве фосфорной кислоты в процессе получения минеральных удобрений. Хранение, переработка и утилизация отхода сопряжены с рядом экологических проблем. Исследуется процесс термической переработки фосфогипса, который может применяться для производства сорбента, необходимого для удаления из сточных вод избыточного содержания меди.

Ключевые слова: фосфогипс, окружающая природная среда, термический метод, переработка отхода

В химической отрасли России сектор производства минеральных удобрений занимает ведущее положение. Рынок минеральных удобрений продолжает демонстрировать стабильный рост: на рис. 1 показана динамика доли минеральных и органических удобрений в общем объеме производства с 2017 по 2019 гг. [1].

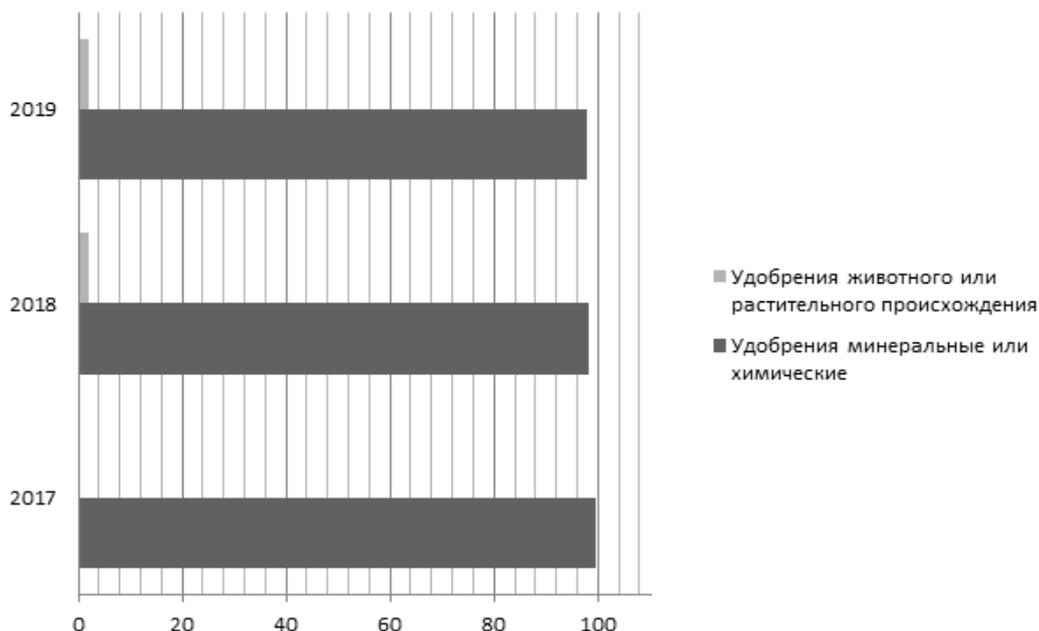


Рис. 1. Процентное соотношение производства минеральных и органических удобрений

Процесс производства минеральных удобрений неизбежно сопровождается образованием побочных продуктов, которые классифицируются как отходы. Одним из наиболее объемных отходов является фосфогипс, который представляет собой гипсовую массу, образующуюся в процессе получения экстракционной фосфорной кислоты [2].

В настоящее время в России скопилось около 320 миллионов тонн фосфогипса [3], создавая серьезные экологические и экономические проблемы. Эти огромные объемы отходов занимают обширные земельные площади, потому что складываются и накапливаются на открытых площадках промышленных предприятиях и химических заводах. При продолжительном складировании отход размывается осадками и в следствии проникает в почву, грунтовые воды и поверхностные водоемы. Кроме того, отвалы фосфогипса образуют пылевые облака, которые негативно влияют на здоровье людей, проживающих в близлежащих населенных пунктах. Это создает угрозу для окружающей природной среды и здоровью людей. Обслуживание отвалов фосфогипса требует существенных материальных и трудовых ресурсов создает, что создает дополнительную финансовую нагрузку на предприятия [4].

Но, к сожалению, доля использования этого материала в качестве вторичного ресурса крайне мала – около 1–2 % от общего объема производства. Это связано с тем, что фосфогипс отличается высокой плотностью, низкой водопроницаемостью и химической стойкостью.

Для решения проблемы загрязнения фосфогипсом важно понимать его свойства, поэтому необходимо было изучить его. В работе рассматривается фосфогипс предприятия ООО «ЕвроХим – Белореченские минудобрения», которое специализируется на производстве фосфорных и сложно водорастворимых минеральных удобрений.

Образующийся после экстракции фосфорной кислоты фосфогипс представляет собой отход, относящиеся к IV классу опасности – малоопасные. Далее был изучен химический состав фосфогипса представленный в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав фосфогипса

Содержание оксидов, % по массе							
CaO	SO ₃	P ₂ O ₅	F	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	H ₂ O
30,0	44,0	0,5	0,1	0,1	0,09	0,2	25,0

После изучения данных о фосфогипсе нами был рассмотрен термический метод переработки отхода, в процессе которого возможно получение сорбента для очистки сточных вод, содержащих медь [5]. В качестве природных связующих были выбраны природный уголь и шелуха семечек [6] состав образцов представлен в табл. 2.

Таблица 2 – Составы образцов

Номер образца	Масса фосфогипса, г	Масса природный уголь, г	Масса шелуха семечки, г
1	17,20	7,50	-
2	17,20	-	7,50

Процесс обработки начинался со смешивания образцов в смесителе, после чего их переносили в тигли для последующей обработки: образцы нагревались в печи до достижения температуры 1100 градусов в течение 30 мин, затем происходила выдержка при этой температуре в течение

60 мин. Последним этапом термообработки было постепенное охлаждение образцов вместе с печью до комнатной температуры, после чего образцы измельчались в ступе до получения порошкообразного состояния.

Каждый образец массой 1 г помещали в раствор медного купороса ($\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (концентрация ионов меди $0,25 \text{ мг/дм}^3$). Раствор вместе с образцами перемешивали в течение 20–30 с и оставляли в покое на 10 мин, после чего растворы пропускали через бумажный фильтр. Лабораторные исследования проведенных экспериментов представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Лабораторные исследования проведенных экспериментов по очистке воды от ионов меди с использованием фосфогипса, природного угля и шелухи семечек

№	Замеряемые характеристики	Номер образцов	
		1	2
1	Концентрация ионов меди в растворе медного купороса, мг/дм^3	0,25	
2	pH обработанной воды	11	7
3	pH осадка	11	11
4	Цвет осадка	Сине-зеленый	Голубой
5	Концентрация ионов меди в фильтрованной пробе, мг/дм^3	0,015	0,016

Приведённые в табл. 3 результаты экспериментов позволяют сделать вывод о необходимости дальнейших исследований фосфогипса с целью получения сорбента для доочистки сточных вод, содержащих медь, и другие тяжёлые металлы перед сбросом в водоём рыбохозяйственного назначения. Данный метод переработки отходов позволит получить новый инновационный продукт, который не только подвергается переработке, но и способствует очистке сточных вод от остаточных концентраций тяжёлых металлов, что в свою очередь будет приводить к улучшению экологической обстановки.

Развитие и внедрение этой технологии является важным шагом в решении проблемы управления отходами фосфогипса и обеспечении экологической безопасности.

Список источников

1. Рынок минеральных удобрений в России 2020: уверенный рост вопреки кризису. // Открытая аналитика URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rynok-mineralnykh-udobreniy-v-rossii-2020-uverennyu-rost-vopreki-krizisu/> (дата обращения: 07.05.2024).
2. Пат. № 2505478 С1 Российская Федерация, МПК С01В 25/22. Способ получения экстракционной фосфорной кислоты: 2012137160/05: заявл. 31.08.2021. опублик. 27.01.2014 / А.В. Гриневич; заявитель Открытое акционерное общество "Научно-исследовательский институт по удобрениям и инсектофунгицидам имени профессора Я.В.Самойлова" (ОАО "НИУИФ").
3. Анализ и прогноз рынка фосфогипса в России // Polymeri.ru: 2024. URL: <https://www.polymeri.ru/rep.php?id=3014&x=3&folder=> (дата обращения: 14.05.2024).

4. Недбаев И.С., Цывкунова Н.В., Елсукова Е.Ю. Обзор российского и мирового опыта решения экологических проблем производства, хранения, переработки и использования фосфогипса // Вестн. Евразийской науки. 2022. №4. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_49721003_19781625.pdf.

5. Золотарева А.А. Оптимальные методы очистки сточных вод промышленного производства // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017. №1(109). С. 50–53.

6. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. СПб: Мир и Семья, 2002. Ч. I. 988 с.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ

С.В. Житников

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

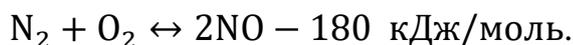
Аннотация. Защита атмосферного воздуха от вредных загрязнений является одной из важнейших проблем современности. Рассмотрены условия образования «термических», «быстрых», «топливных» оксидов азота.

Ключевые слова: оксиды азота, сжигание топлива, переработка отходов

Защита атмосферного воздуха от вредных загрязнений является одной из важнейших проблем современности [1]. Развитие промышленности сопровождается увеличением производства электро- и теплоэнергии, и соответственно, увеличением потребления топлива. Следствием этого является рост образующихся при сжигании токсических веществ.

Образование оксидов азота при горении углеводородных топлив является результатом сложных химических процессов [1–7]. Условия образования оксидов азота определяются взаимозависимыми процессами химической кинетики, тепломассопереноса и аэродинамики реагирующих потоков. В настоящее время принято выделять три основные группы источников образования оксидов азота: «термические», «быстрые» и «топливные» NO_x . При образовании «термических» и «быстрых» NO_x источником азота является воздух, а в случае образования «топливных» NO_x – азотсодержащие составляющие топлива.

Условия образования «термических» оксидов азота. Реакция окисления атмосферного азота свободным кислородом при горении описывается уравнением



Решающее влияние на равновесную концентрацию оксидов азота в воздухе оказывает температура в зоне реакции. Термические оксиды образуются при горении любых топлив в области высоких температур факела. Окисление молекулярного азота воздуха происходит по цепному механизму (механизму Я.Б. Зельдовича), в котором активную роль играют свободные атомы кислорода и азота.

Реакция образования термических NO_x характеризуется высокой энергией активации и поэтому происходит в области высоких температур, превышающих 1800 К. Концентрация термических NO_x интенсивно возрастает от начала зоны горения и достигает максимальных значений непосредственно за зоной максимальных температур. Значения равновесной концентрации оксидов азота от температуры приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения равновесной концентрации оксидов азота от температуры

Температура, К	300	700	800	1800	2500
Равновесная концентрация, C_{NO} , мг/м ³	0,00127	0,38	2,54	4700	31700

Проведенные исследования позволяют констатировать следующее.

В топках паровых котлов время пребывания продуктов сгорания зависит от теплоты сгорания топлива, теплонапряжения объема, степени заполнения объема (наличие зон рециркуляции) и, как правило, меньше времени достижения равновесных концентраций оксидов азота [12]. Поэтому увеличение времени пребывания в зоне горения увеличивает концентрацию оксидов азота.

Анализ условий и факторов, влияющих на образование термических оксидов азота, позволил сформулировать методы практического воздействия на эти процессы с целью снижения выбросов оксидов азота:

- снижение общего уровня температур в зоне активного горения (рециркуляция продуктов сгорания, подача пара или воды в зону горения и дутьевой воздух, снижение температуры горячего воздуха);
- снижение максимальных локальных температур в топке путем подачи газов рециркуляции, пара и воды;
- уменьшение максимальной температуры и содержания кислорода в зоне максимальных температур организацией стадийного сжигания;
- уменьшение общего избытка окислителя.

Образование «быстрых» оксидов азота. Быстрые оксиды азота образуются в корневой зоне факела при взаимодействии молекулярного азота с углеводородными радикалами, возникающими в результате промежуточных реакций горения. Исследования С. Фенимора [8] показали, что реакция образования быстрых оксидов азота протекает с большой скоростью уже при температурах 1200...1600 К, когда термические оксиды еще практически не образуются. Величина быстрых оксидов азота зависит от избытка воздуха и температуры продуктов сгорания в зоне горения.

Зависимость образования быстрых NO от избытка воздуха имеет экстремальный характер; максимальный выход наблюдается при горении богатых смесей ($\alpha = 0,6 \div 0,8$) и увеличивается с ростом температуры в зоне реакции. Доля быстрых оксидов азота в суммарном выбросе NO_x невелика, и, как правило, не превышает 10÷15 %, однако в котлах малой мощности с суммарным выбросом NO_x до 150÷200 ppm она может достигать до 30÷50 %.

Образование «топливных» оксидов азота. Источниками топливных оксидов азота являются азотсодержащие соединения, входящие в состав жидких и твердых топлив. Азотсодержащие соединения топлива легче превращаются в NO, чем молекулярный азот воздуха. Эти превращения начинают происходить уже при температуре 950÷1300 К при наличии в зоне реакции достаточного количества кислорода. Топливные оксиды образуются в основном на стадии выгорания летучих, которая завершается уже на начальном участке факела.

Степень конверсии (коэффициент превращения) азотсодержащих соединений в оксиды азота меняется в зависимости от содержания связанного азота в топливе N^r .

Рециркуляция дымовых газов. Одним из наиболее эффективным и широко распространенным методом снижения образования оксидов азота является рециркуляция дымовых газов [10–12]. Влияние рециркуляции на выход оксидов азота объясняется действием нескольких факторов:

- снижением максимальной температуры в зоне активного горения вследствие разбавления охлажденными продуктами сгорания;
- снижением концентраций реагирующих веществ из-за разбавления продуктами сгорания.

Сжигание топлива с малыми избытками воздуха. С точки зрения экономичности сжигания топлива этот метод является наиболее рациональным [13]. Применение этого метода основано на том, что зависимость выхода оксидов азота от коэффициента избытка воздуха имеет экстремальный характер (рис. 1).

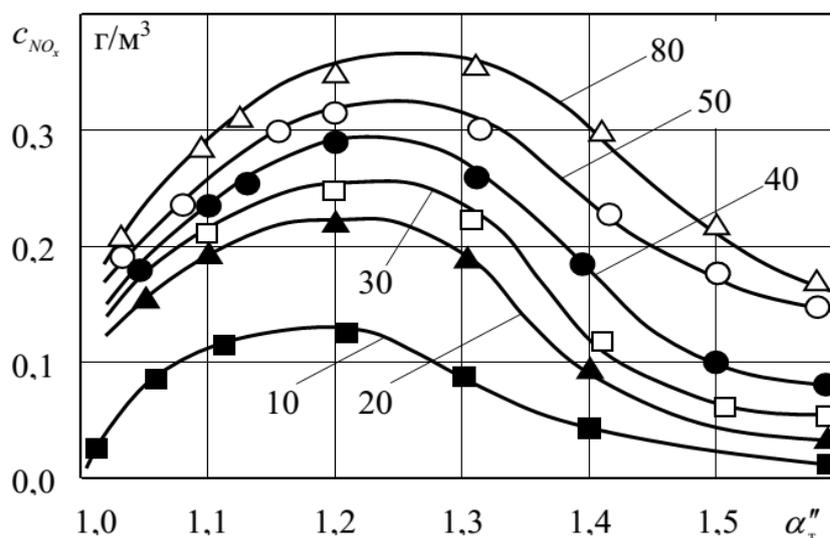


Рис. 1. Зависимость концентрации оксидов азота от избытка воздуха при различных тепловых напряжениях

При сжигании с малыми избытками воздуха серосодержащих топлив уменьшается скорость коррозии и загрязнение конвективных поверхностей нагрева [11].

Стадийное (ступенчатое, нестехиометрическое) сжигание топлива. Сущность этого метода сжигания топлива заключается в согласовании количества подаваемого воздуха (окислителя) с выгоранием топлива.

При двухступенчатом сжигании в первичную зону подается воздуха меньше теоретически необходимого: $\alpha_1 < 1,0$ (обычно $\alpha_1 \approx 0,70 \div 0,95$). Минимальное значение избытка воздуха зависит от характеристик топлива. Количество воздуха, подаваемого во вторичную зону (зону дожигания продуктов неполного сгорания), выбирается таким, чтобы обеспечить общий избыток воздуха на выходе из топки равным $1,05 \div 1,07$.

Из-за разбавления продуктами сгорания последующее горение (во вторичной зоне) протекает при более низкой температуре, поэтому в этой зоне практически не образуется оксидов азота.

Метод трехступенчатого сжигания предусматривает восстановление образовавшихся оксидов азота организацией восстановительной зоны выше зоны активного горения. Создание восстановительной зоны организуется на уровне 2–4 м. выше верхней образующей основных горелок верхнего яруса установкой газовых или мазутных горелок. Количество топлива-восстановителя принимается равным 10–20 % по теплу от суммарного тепловыделения в топке.

Коэффициент избытка воздуха в основных горелках поддерживается близким к 1,0. Количество третичного воздуха принимается равным 10–20 %.

По результатам многочисленных расчетно-теоретических исследований и экспериментальных данных стадийных способов сжигания органического топлива можно сделать следующие основные выводы:

1. Стадийное сжигание топлива является дешевым и практически универсальным способом снижения выбросов оксидов азота.

2. Для повышения оптимальности стадийных методов сжигания целесообразно использовать рециркуляцию дымовых газов.

3. Внедрение любых разновидностей стадийных методов сжигания требует наличия весьма совершенной системы измерений и непрерывного контроля газообразных выбросов.

В конструкциях горелок с низким выходом оксидов азота реализуются основные описанные методы снижения выбросов.

Доклад выполнен под руководством к.т.н., доцента, проректора по образовательной деятельности Е.М. Дьяконова.

Список источников

1. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. Л., Недра, 1988, 312 с.
2. Росляков П.В., Закиров И.А. Нестехиометрическое сжигание природного газа и мазута на тепловых электростанциях. М.: Изд-во ИЭИ, 2001, 144 с.
3. Котлер В.Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов. М.: Энергоатомиздат, 1987, 144 с.
4. Лавров Н.В., Розенфельд Э.И., Хаустович Г.П. Процессы горения топлива и защита окружающей среды. М., «Металлургия», 1981, 240 с.
5. Егорова Л.Е., Росляков П.В., Буркова А.В. Математическое моделирование и расчет эмиссии токсичных продуктов сгорания органических топлив // Теплоэнергетика. 1993. № 7. С. 63–68.
6. Зельдович Я.Б., Садовников П.Я., Франк-Каменецкий Д.А. Окисление азота при горении. М., Наука, 1947, 146 с.
7. Гусев И.В., Зайчик Л.И., Кудрявцев Н.Ю. Моделирование образования оксидов азота при сжигании твердого топлива в топочных камерах // Теплоэнергетика. 1993. №1. С. 32–36.
8. Fenimore C.P. Formation of nitric oxide in premixed hydrocarbon flame // B-th Sympos. (Interm.) On Combustion. 1971. 373 p.

9. Капельсон Л.М., Харитонов А.Ф., Голов В.В. Выбор оптимального решения по использованию рециркуляции газов при сжигании природного газа // Электрические станции. 2001. №2. С. 7–10.

10. Сергеев В.В. Разработка направлений технического перевооружения пылеугольных ТЭЦ, переведенных на сжигание природного газа и мазута, на примере ТЭЦ-20 Мосэнерго: автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. Новочеркасск, 2002, 30 с.

11. Парчевский В.М. Управление выбросами оксидов азота на ТЭС рециркуляцией дымовых газов: автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. М, 2010, 20 с.

12. Беспалов В.В., Беспалова С.У., Вагнер М.А. Природоохранные технологии на ТЭС. Томск: изд-во Томского политехн. ун-та, 2010, 240 с.

13. Юрьев Е.И. Повышение эффективности топочного устройства при переводе пылеугольных котлов на сжигание природного газа: дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. Новочеркасск, 2014, 186 с.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ПРОДУКТОВ ТОПЛИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ДИЗАЙНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Ю.С. Тышлангян, Е.А. Лазарева

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассматриваются основные технологические аспекты производства стеклокристаллических материалов с применением техногенных продуктов топливной энергетики.

Ключевые слова: стеклобой, декоративно-облицовочные материалы, шихта, силикатообразование, кристаллизация стекла, декоративное стекло, цветное стекло, стеклоплитка

В настоящее время производство высококачественных строительных материалов требует специальной переработки и приведения характеристик доступных природных и техногенных сырьевых материалов в соответствие с требованиями технологии. Это становится особенно важным, поскольку запасы качественного природного сырья сокращаются, а антропогенная нагрузка на окружающую среду увеличивается. Одним из таких отходов является стеклобой [1], который не разлагается сам по себе и представляет угрозу для окружающей среды, а также может причинять травмы людям, живущим в близлежащих районах. Поэтому необходимо принять меры по утилизации стеклобоя.

Были проведены исследования и разработка декоративно-облицовочных материалов с применением стекольной технологии. Для этого использовались как природные материалы, так и отходы производства листового стекла и углеобогащения методом флотации. Процесс включал приготовление шихты по стекольной технологии, ее засыпку в алундовые тигли и нагревание в электрической печи до температуры 1350 °С с последующей выдержкой в течение 2–2,5 часов для получения качественной стекломассы [2]. Результаты исследований показали, что физико-химические процессы варки стекломассы в шихте завершаются полностью в диапазоне температур от 1300 до 1350 °С (рис. 1).

В процессе формирования силикатов в шихте происходят различные физико-химические процессы при различных температурах. Начальная стадия силикатообразования происходит в диапазоне от 100°С до 900°С, а завершающая стадия – в интервале от 950 до 1100 °С. В результате образуется пористый спек, содержащий силикаты, алюмосиликаты и кремнезем. После завершения процесса силикатообразования в шихте остается около 25 % кремнезема. В процессе также выделяются газы.

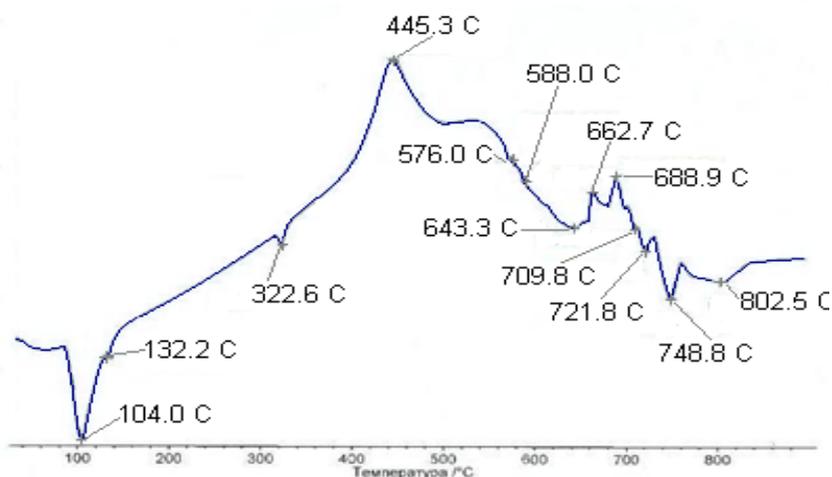


Рис. 1. Термограмма шихты экспериментальных стекол

При определенных температурах наблюдаются эндотермические эффекты, указывающие на различные химические реакции [3]. Например, при 104,0 °С начинается дегидратация и выгорание остатков углеобогащения, а при 322,6 °С начинается взаимодействие CaCO_3 и Na_2CO_3 . Другие эндотермические эффекты при 709,8, 721,8 и 748,8 °С свидетельствуют о декарбонизации и взаимодействии различных соединений. При повышении температуры до 1250 °С происходит плавление образовавшихся силикатов и алюмосиликатов, а также растворение непрореагировавшего кварца (SiO_2). При достижении температуры 1350 °С газовые пузыри и свилей полностью удаляются из расплава, что обеспечивает однородность стекломассы. Для последующих исследований использовались образцы с разным содержанием остатков углеобогащения (10 и 30 %), оптимальными по различным свойствам.

Для прогнозирования механизма кристаллизации стекол стекломатериалов проведен дифференциальный термический анализ стекла с содержанием 10 и 30 % «хвостов» углеобогащения [3]. Характер кривой термограммы свидетельствует об образовании в экспериментальном стекле микронеоднородностей, вместе с этим ярко выраженные экзоэффекты отсутствуют (рис. 2).

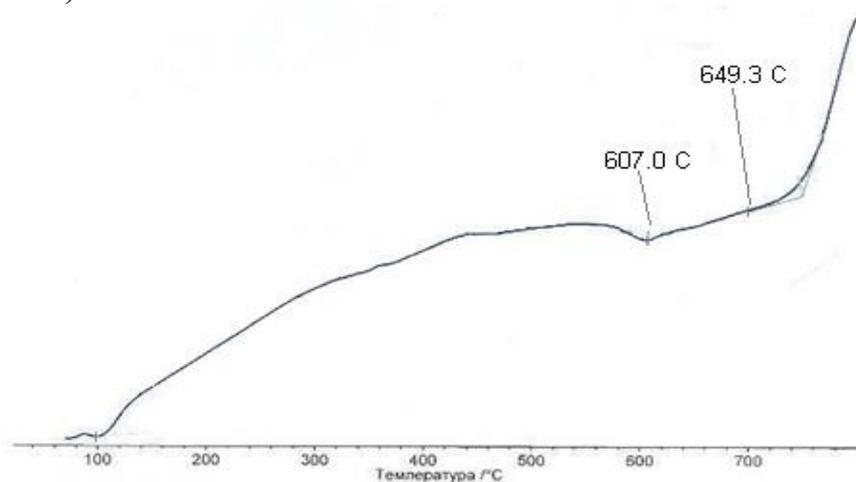


Рис. 2. Термограмма экспериментального стекла

Из вышеуказанных исследований можно сделать вывод о возможности использования остатков углеобогащения в производстве декоративных стекол на основе системы $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-FeO}$. Эти стекла, благодаря своим декоративным и функциональным характеристикам, могут быть успешно применены в производстве марблита и стекломрамора [4]. Были разработаны составы и технологические параметры для создания стеклокристаллических материалов, которые по своим физико-механическим, эксплуатационно-техническим и эстетическим свойствам могут быть использованы как декоративные облицовочные материалы для дизайна окружающей среды.

Интересным научным и практическим аспектом является выявление состава фаз цветного стекла, который определяет его декоративные и функциональные характеристики. Целью исследования методом рентгеноструктурного анализа были изучены образцы цветной архитектурно-строительной стеклянной мозаичной плитки, чтобы понять механизм окрашивания стекла: голубой Б-Г-5; Б-Г-10, синий Б-С-10, зеленый Б-З-5, желтый Б-Ж-10, бежево-песочной Б-Бп-5, красно-коричневой Б-Кр-5, малиновой Б-М-5 и розовой Б-Р-5 (рис. 3).

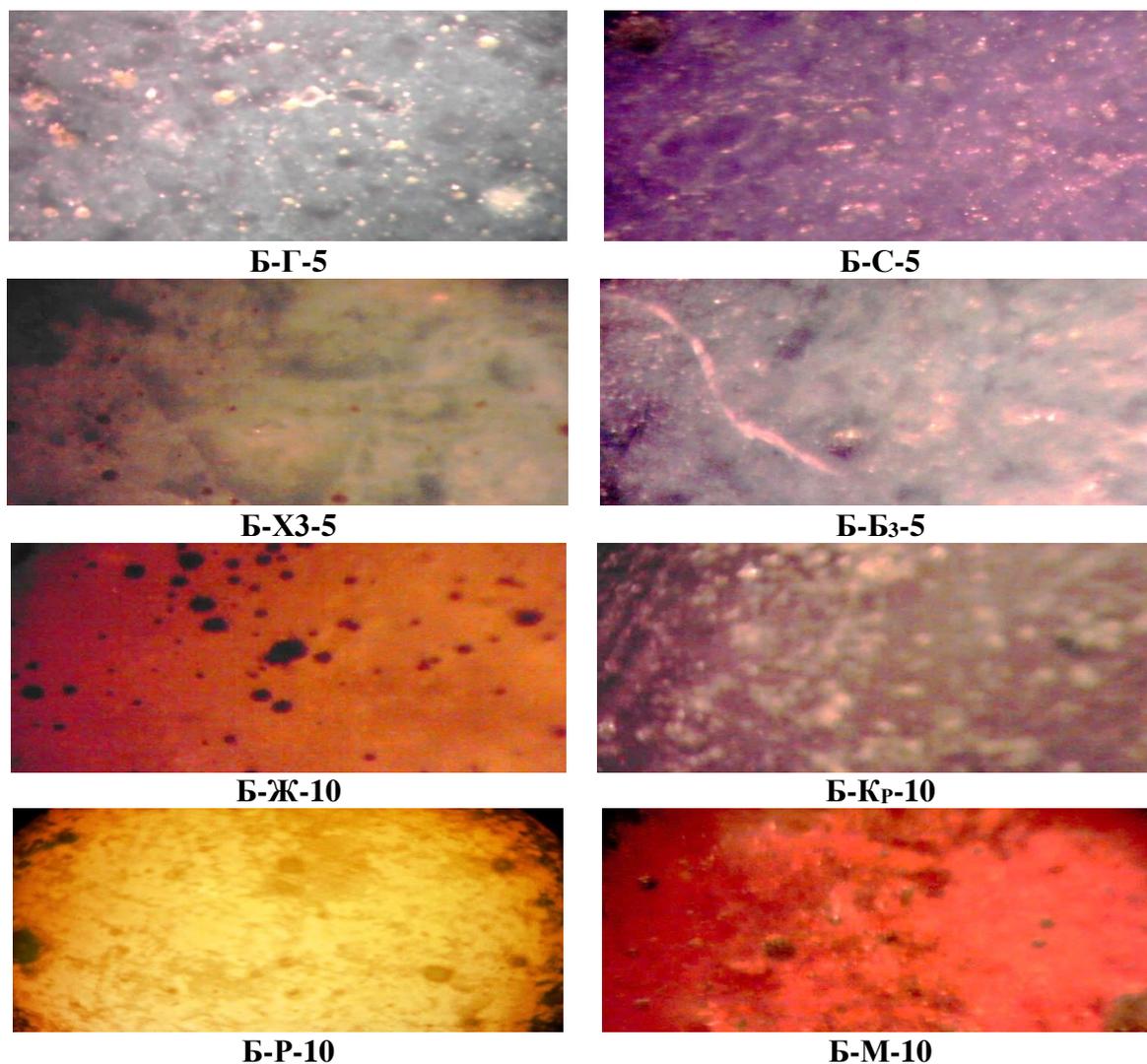


Рис. 3. Микроструктура декоративной стекломозаичной плитки (×500)

Проведенные исследования выявили следующее. Добавление песка в состав плиточных пресс-масс в объеме 5 и 10 % не влияет на степень кристаллизации плиток, она остается практически одинаковой. Во всех плитках обнаружена кристаллическая фаза α -кварца (0,334; 0,246; 0,226 нм). Формирование голубого цвета стекла связано с образованием твердых растворов на основе системы $ZrO_2-V_2O_5-SiO_2$ (0,409; 0,324; 0,300 нм). В стекле голубого цвета также присутствует шпинель $CoAl_2O_4$ (0,264; 0,213; 0,150 нм).

Формирование желтого оттенка обусловлено появлением кристаллической фазы – Pr_2O_3 (0,349; 0,300; 0,224 нм). Розовая плитка приобретает свой оттенок благодаря образованию нескольких кристаллических фаз, основными из которых являются циркон $ZrSiO_4$ (0,443; 0,330; 0,252; 0,175 нм) и гематит $\alpha-Fe_2O_3$ (0,269; 0,207; 0,184 нм), который также присутствует в плитке Б-Кр-5.

Характеристики малиновой стеклоплитки отличаются наличием в ее фазовом составе соединения $CaCr_2O_4$, которое имеет размеры кристаллической решетки 0,361; 0,315; 0,266; 0,187 нм. Это вещество является ответственным за высокие декоративные и функциональные свойства данной плитки. При производстве бежево-песочной стеклоплитки Б-Бп-5 формируются кристаллические фазы α -кварца и $\gamma-Fe_2O_3$, размеры решеток которых составляют 0,386; 0,350; 0,307 нм.

Исходя из представленной информации, можно сделать вывод о том, что процесс создания декоративной стеклянной мозаичной плитки для архитектурно-строительных целей основан на сложной процедуре формирования ее структуры. Этот процесс сопровождается образованием указанных кристаллических фаз, которые определяют высокие характеристики декоративных и функциональных свойств данной стеклоплитки [7].

Представленные данные указывают на то, что в последние десятилетия проявляется значительный интерес к использованию техногенных отходов в качестве сырья для производства строительных материалов. Этот интерес существует параллельно с традиционными методами утилизации отходов. Исследования показывают, что использование техногенных материалов имеет большое значение для развития технологий и создания новых, более доступных стекол и материалов для архитектурного дизайна и строительства [8].

Список источников

1. Строительное материаловедение: учеб. пособие / под общ. ред. В.А. Невского: 3-е изд., доп. и перераб. Ростов н/Д., 2010. 588 с.
2. История развития и основы технологии стекла: учеб. пособие / Н.И. Минько, В.М. Нарцев, Р.Г. Мелконян. Белгород, 2008. 396 с.
3. Зубехин А.П., Голованова С.П., Яценко Е.А., Верещака В.В., Гузий В.А. Основы технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов: учеб. пособие / под ред. А.П. Зубехина; Юж.-Рос. гос. техн. ун-т: 2-е изд, испр. и доп. Новочеркасск, 2006. 283 с.
4. Лазарева Е.А. Технология изготовления художественных изделий из стекла: учеб.-метод пособие к лабораторным работам / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). Новочеркасск, 2012. 60 с.

5. Минько Н.И. Избранные труды. Белгород, 2004. 545 с.
6. Жерновая Н.Ф., Павленко З.В. Физико-химические свойства стекол и стеклокристаллических материалов: учеб. пособие. Белгород, 2000. 96 с.
7. Лазарева Е.А. [и др.] Пат. 2276114 РФ МПК С03 С 10\06 Цветной стеклокристаллический материал.
8. Мамедов Э.К. Декоративные облицовочные материалы из промышленных отходов//Стекло и керамика. 1999. № 9. С. 9.
9. Лазарева Е.А. [и др.] Пат. 2235073 РФ МКИ С 03 С 10/06 Декоративный стеклокристаллический материал.
- 10 Лазарева Е.А. [и др.] Пат. 2341380 РФ МПК В 44 С 1/28 Способ изготовления художественно-декоративных стекломозаичных изделий.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СИНТЕЗА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 621.357.7

MECHANISM OF DESTRUCTION OF RUTHENIUM OXIDE TITANIUM ANODES

E.V. Korbova¹, M.S. Lipkin¹, M.V. Lipliyavka¹, Mandin Ph.²

¹Platov South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk,

²Université de Bretagne Sud, IRDL UMR CNRS 6207, Lorient, France

Abstract. In the present work, an experimental study of potential distributions obtained by using materials of the soluble group, and one of the promising insoluble materials, ORTA, has been carried out.

Keyword: ruthenium oxide titanium anodes, corrosion, earth electrodes, metal protection, electrochemical potential

In recent years, the main anode material in the production of chlorine and chlorine-containing substances has become ruthenium oxide titanium anodes (ORTA), which have good polarization characteristics and high corrosion resistance.

ORTA were created empirically and, despite considerable experience in their industrial use, knowledge about the nature of their catalytic and corrosive properties manifested in the processes of electrolysis of chloride solutions is insufficient. This prevents the improvement of the ORTA, the identification of all their useful resources, as well as the creation of new metal oxide anode compositions with predetermined properties.

The question of the mechanism of corrosion destruction of ORTA in the processes of electrolysis of sodium chloride solutions remains largely unclear. To a large extent, this is due to experimental difficulties in determining low corrosion rates of components that make up the complex crystal chemical system of ORTA. Until recently, corrosion studies have concerned only one of its components, ruthenium dioxide.

ORTA has been used in the production of sodium chlorate and disinfecting solutions of sodium hypochlorite from low salinity waters, seawater, and wastewater treatment. But there is still no data on their catalytic properties and corrosive behavior in these processes.

Oxide ruthenium – titanium anodes are electrodes with a metal base made of titanium, on which an active coating is applied, which is a mixture of $\text{RuO}_2 \cdot \text{TiO}_2$ oxides. The titanium base has high corrosion resistance during anodic polarization due to the formation of a protective oxide film, which allows it to be used as a current supply to the anode coating without any corrosion protection [1-3].

The active coating of ORTA is formed by different types of oxides and is formed by layer-by-layer application of coating hydrochloric acid solutions TiCl_4 and RuOHC1_3 on a titanium base, followed by their drying at room temperature, and further thermal firing at 360 – 470 °C. The anodes obtained in this way contain 30 mol % RuO_2 and 70 mol % TiO_2 and under chlorine electrolysis conditions, they have high catalytic activity, selectivity and corrosion resistance, maintaining their excellent characteristics over several years of continuous operation.

Under the conditions of chlorine electrolysis (NaCl , pH 2-4, 87 °C, $i = 0,2 \text{ A/cm}^2$), the main process of chlorine release takes place at ORTA:



The standard potential of this reaction is $E_0 = 1,3595 \text{ V}$. It lies in the field of thermodynamic instability of water and ruthenium dioxide. Therefore, in the conditions of chlorine electrolysis on ORTA, in addition to the main reaction of chlorine release, electrochemical reactions of oxygen release are also possible:



$$E_0 = 1,229 \text{ B [4]},$$

and anodic dissolution of ruthenium dioxide:



$$E = 1,387 - 0,059 \text{ pH [4]}.$$

Local electrochemical analysis of oxide materials is possible based on the processes of reduction and oxidation of oxide phases based on electrode processes. As follows from the literature data, the reduction potentials of oxides differ significantly, therefore, with their joint presence in ORTA, one can expect the appearance of different sites of their reduction on a common chronopotentiogram.

For the application of anodic or inversion pulse chronopotentiometry, different polarization modes can be used, as well as electrolytes with different pH.

The composition of the mixed oxides affects the yield of hypochlorite, i.e. the catalytic activity of the electrode. Since the first section corresponds to a different qualitative composition of the electrode, it is advisable to represent it by the value of the potential of the site. The dependences of the hypochlorite yield on the potential of the first site and the composition of the mixed oxides of the second site show that there is some optimal composition of mixed oxides that provides the highest yield of sodium hypochlorite. However, it is incorrect to consider the resulting picture as complete, since it does not reflect the number of corresponding phases.

Measurement modes were optimized to study changes in the phase composition of the ORTA as a result of corrosion occurring during anodic oxidation of chloride ions. It was found that increasing the pulse time does not allow to achieve the recovery potentials of the oxide-titanium phases of the electrode, and therefore the optimal polarization mode is the mode in which the pulse duration is 1,5 and the pause is 0,5 seconds (fig. 1).

As an electrolyte, it is advisable to use sulfuric acid, in which the various phases of the oxides are more clearly manifested.

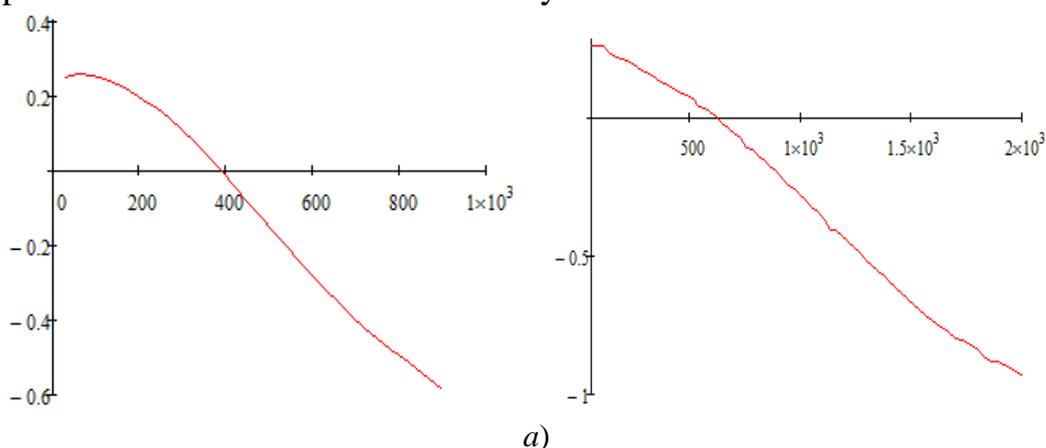


Fig. 1. Dependence of the non-current potentials on the pulse number for a) sulfuric acid b) hydrochloric acid at a pulse time of 0,5 sec and a pause time of 1 sec.

The results of the study of electrodes by the electrochemical impedance method show (fig. 2) that the electrodes are characterized by a coupling scheme without diffusion impedance. This may mean that the macrostructure of these electrodes corresponds to dense films with reduced porosity.

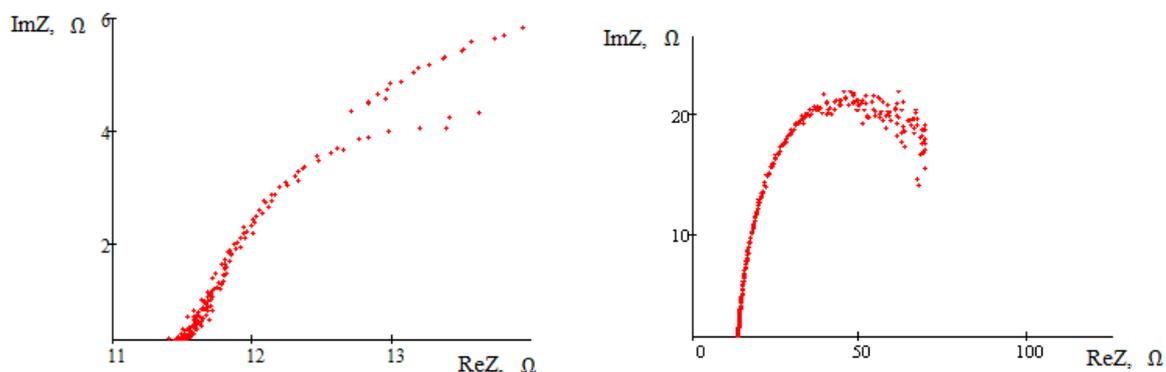


Fig. 2. Hodographs of electrochemical impedance for electrodes

Apparently, immediately after the dissolution of the surface layers of the oxide, the processes of transition to a solution of ruthenium and titanium begin, which is a consequence of their chemical dissolution in the electrolyte due to the nature of the resulting phase based on mixed titanium oxide and ruthenium (III) (this phase may be the product of partial reduction of ruthenium oxide by titanium during heat treatment). Further, iridium complexes reappear in the solution. Such a "disappearance" of the product may be the result of the termination of its dissolution and at the same time reduction at the cathode. In addition, under conditions of alkalization of the cathode layer, hydrolysis of chlorine iridium complexes is possible. The reappearance of iridium in the products after 6 hours of electrolysis may be a consequence of the dissolution of the next layer, which is intensified by the action of a strong reducing agent, titanium ions 3. After that, the dissolution of iridium and ruthenium apparently stops and only titanium phases are dissolved.

The equivalent concentrations of oxidants (iodometric titration) and hypochlorite (potentiometric titration) after 1 hour of electrolysis are in good agreement for this electrode, which means low oxidative activity of the products formed, chloride complexes, ruthenium and titanium ions. Thus, for this electrode, dissolution in most cases is chemical, occurs in layers and is a consequence of the reduction of iridium and ruthenium oxides by titanium during heat treatment. The electrode is characterized by the formation of ruthenate and peruthenate anions (fig. 3).

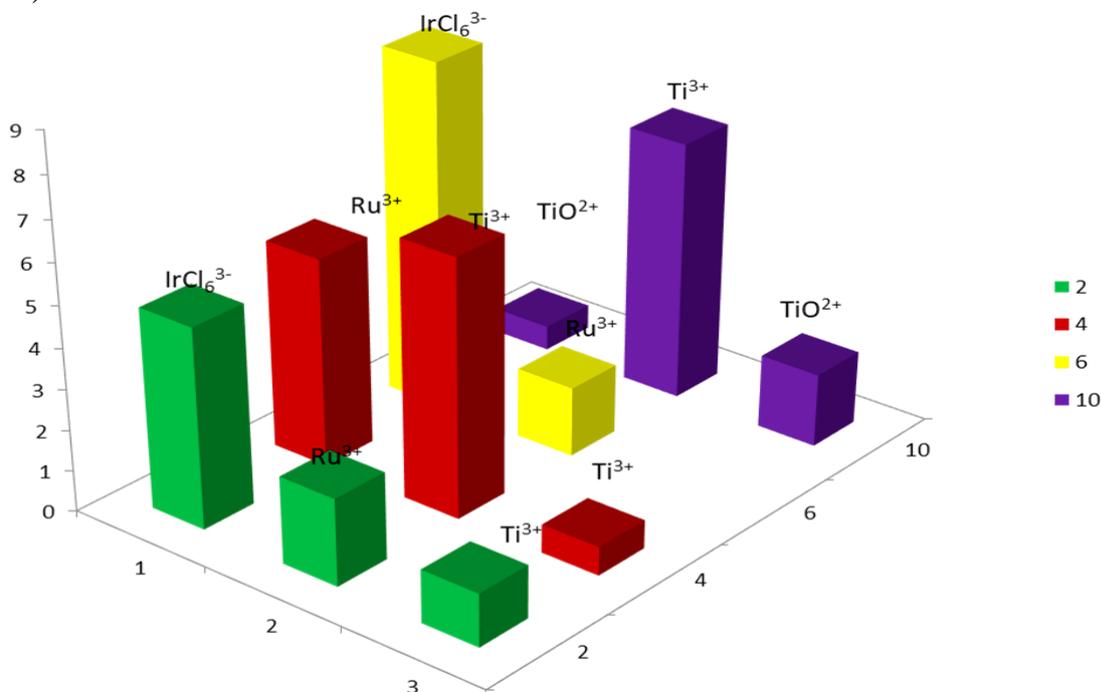


Fig. 3. Histograms of the currents of the maxima of the voltametric dependences with indication of the starting substances of the electrode reactions

It should be noted that in many cases, corrosion products with higher oxidation states than ruthenium 4 and iridium 3 are practically absent in the solution. This is due not only to the chemical dissolution of oxides, but also to the reactions of disproportionation of iridium and ruthenium compounds with higher oxidation states. The consequence of these reactions is precipitation in solutions during electrolysis. The chemical dissolution is enhanced due to acidification of the anode layer of the electrolyte, and therefore there is a direct relationship between the corrosion resistance of OIRTS and their catalytic activity.

In this way:

- The catalytic activity of ORTA can be estimated by the rate of accumulation of hypochlorite ions, which is determined by methods of reverse potentiometric titration.

- For electrochemical express analysis of ORTA, it is advisable to use a polarization mode with a pulse duration of 1.5 seconds and a pause of 0.5 seconds, and use 1 M sulfuric acid as an electrolyte. Using these conditions, it is possible to evaluate the phase composition of the electrode and predict its corrosive and catalytic properties.

- Corrosion under conditions of anodic polarization is associated with the transition of ruthenium and iridium ions formed at the initial stages into the solution, as well as products of their oxidation to ruthenate and peruthenate ions. The corrosion rate of the ORTA significantly depends on the morphology of the oxide films, estimated by the results of impedance measurements. Dense and low-porous films correspond to the minimum corrosion rate.

- The mechanism of chloride ion oxidation includes adsorption of chloride ions by the catalyst surface, surface diffusion to active centers and charge transfer, rearrangement. The desorption stage is an important stage in the overall scheme of the process. Electrodes containing more than 90 % RuO₂ have maximum catalytic activity.

References

1. Antonov V.N., Bystrov V.I., Avksentiev V., Yurkov J.I., Kubasov V.L. Titanium oxide-ruthenium anodes in electrolysis of sodium chloride in baths with a diaphragm // Chemical industry. 2004. No. 8. Pp. 600–603.

2. Gorodetsky V.V., Pechersky M.M., Yanke V.E., Shub D.M., Losev V. V. Kinetics of dissolution of oxide ruthenium-titanium anodes during electrolysis of chloride solutions // Electrochemistry. 1979. Vol. 15, No 4. Pp. 559–562.

3. Fesenko L.N. possibilities of Express Diagnostics of ORTA electrodes by methods of local electrochemical analysis / M. S. Lipkin, E. V. Korbova, Yu. N. Nikolaeva, V. A. Salikova, G. V. Kupriyanova // student scientific spring-2013: materials of the region. science. technical conf. (scientific competition.- technical works) students, aspirants and young scientists of Higher Education Institutions growth. OBL., 25-26 Apr. 2013 / South.- Russian state. technical universityt (NPI). Novocherkassk: 2013. Pp. 212–213.

4. Antropov L.I. Theoretical electrochemistry. M.: Higher School, 1984. Pp. 324–328.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

RESOURCE-EFFICIENT TIN-BASED ELECTRODE FOR LITHIUM-ION BATTERIES

E.V. Korbova¹, M.S. Lipkin¹, V. Oruç², K. Madhan³

¹Platov South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russia,

²Faculty of Engineering, Dicle University, Diyarbakır, Turkey,

³Saveetha School of Engineering, Saveetha Institute of Medical and Technical Sciences,
Saveetha University, Chennai, India

Abstract. The article is devoted to the study of the electrochemical properties of coatings obtained from an anodically synthesized electrolyte containing a freshly obtained suspension of tin powder particles. The conducted studies have established that tin-tin powder composite coatings obtained from anodically synthesized electrolyte with a dispersed phase remaining in the electrolyte are promising anode materials of lithium-ion batteries.

Keywords: potentiometric methods, pulsed current mode, tin powder, composite electrodes, electrodeposition, lithium intercalation

Ultra-dispersed and nano-sized tin powders are among the promising materials for lithium-ion batteries with a specific capacity of 1200 mAh/g [1-3]. However, their wide application is hindered by the problems of increasing the electrode volume in cathodic introduction processes. One of the reasons could be co-intercalation of electrolyte molecules. To eliminate it, an encapsulating film on tin surface, permeable only for desolvated lithium ions, should be created. The base of such film formation is ethylene glycol, which action can be seen both in ionic liquid choline-chloride-ethylene glycol and in water-ethylene glycol solutions.

Studies [4] have shown that reduction of tin ions from ionic liquid occurs either directly from the solution, or through the formation of the precursor, an organotin film. By chronopotentiometry, potential transients and spectroscopy of electrochemical impedance together with X-ray microanalysis it was shown that at current densities above 10 mA/cm² on the electrode an organotin film is formed, consisting of fragments with bonds Sn-O and fragments with bonds Sn-C. The film obtained has high desolvation properties and ensures achievement of specific capacity of the tin powder electrode at 817 mAh/g with insignificant decrease of lithium diffusion coefficient in the intercalation process [5].

As it was found in previously published papers a high specific capacity of tin powder is realized in composite electrochemical coatings of tin-tin powder. To obtain composite coatings, dispersed phase powder in dry form is usually added to the electrolyte. However, given that the tin powder is synthesised in the tin-containing electrolyte, it is advisable to obtain the composite coating directly from this solution. This prevents the inevitable agglomeration of tin powder particles during separation and subsequent drying. It is known that structure and properties of composite coatings essentially depend on electrodeposition modes [6]. In this regard, it was of interest to study the electrochemical properties of coatings obtained from an anodically synthesized electrolyte containing a freshly obtained suspension of tin powder particles.

Composite tin-powder tin electrodes were prepared as follows. From the electrolyte initially containing $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1 m/l, H_2SO_4 1,5 m/l, ethylene glycol 1 m/l, pH 0,5-1 we made tin powder on the fluted vibrating titanium cathode with a soluble tin anode. The minimum particle size of the powder produced from this electrolyte was 51 nm [1].

The morphology of the composite coatings changes significantly depending on the anodic pulse time. For a pulse time of 25 μs the structure of the resulting coating is coarse-crystalline with an irregular distribution of coating fragments and powder particles. At pulse time of 50 μs the powder is more evenly distributed in the coating and it becomes finely crystalline. This is due to the levelling effect of the anodic pulse, during which the coating fragments are partially dissolved, resulting in an electrode with a more uniform morphology.

Cyclic voltametric (CVA) dependences of the investigated composite electrodes reveal maximums of current on the anode branch increasing with repetition of sweep, which indicates the increase of electrode surface during cycling (fig. 1). At the same time, the CVA of the CC 2 electrode obtained with longer pause time between the cathode and anode pulses is characterized by higher currents and more pronounced limiting lithium intercalation current than for CC 1, which means getting higher specific surface at a longer pause before the anode pulse.

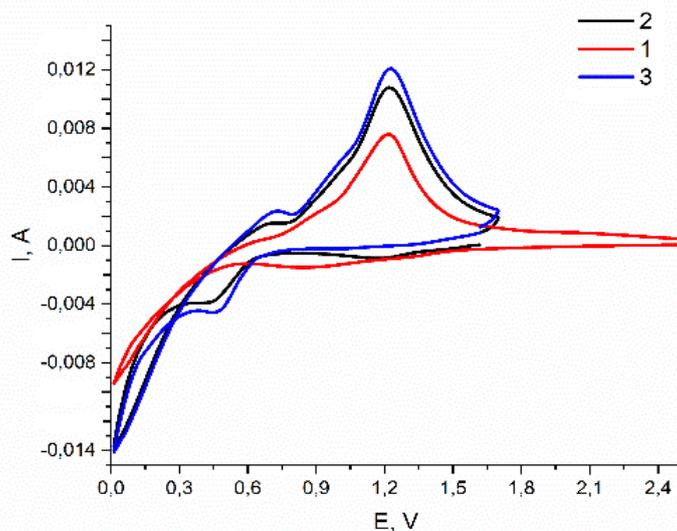


Fig. 1. Cyclic voltametric dependences of composite electrodes 1,2,3 - cycle numbers

The quantity-of-electricity-potential relationship (fig. 2) for the intercalation process is characterized by a maximum at a potential of 0,35 V, which appears much larger for CC 2. This implies that there is a horizontal section in the EMF-potential intercalate dependence associated with intermetalide formation, after which there are no specific points in the dependence, which may imply intercalation to intergranular positions without significant structural changes in the material. The deintercalation process for CC 2 is symmetric to the intercalation process, indicating a high reversibility of the material. For CC 1 such symmetry is not observed, deintercalation proceeds through the formation of several intermediate phases. These differences are probably due to the greater number of micropores in the CC 1 electrode, formed due to a longer pause in coating production.

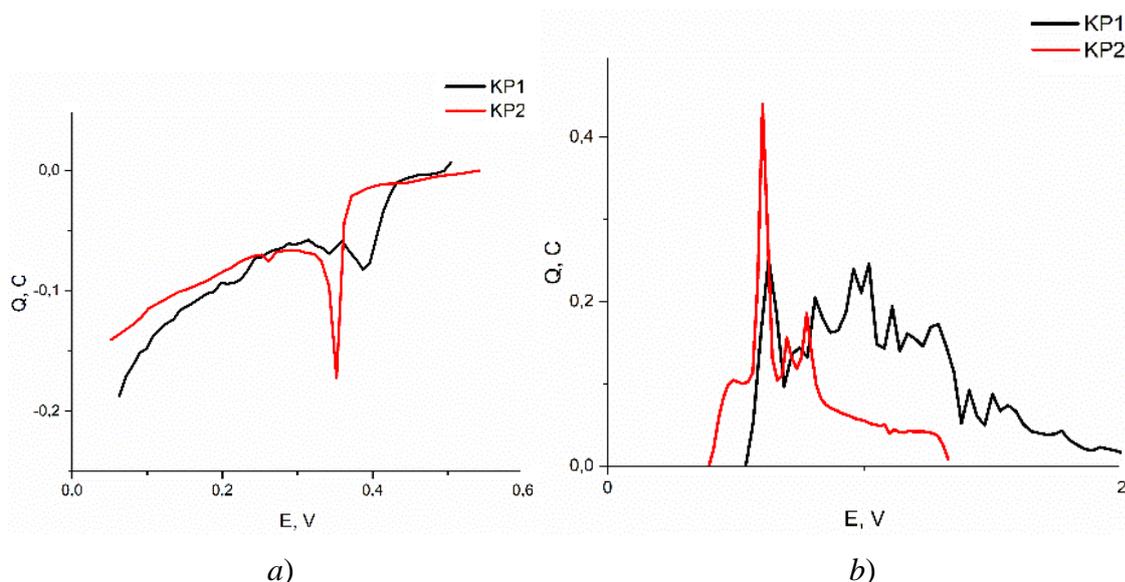


Fig. 2. Electricity quantity-potential relationships
a) anodic (a-CC 1; b-CC 2); b) cathodic (a-CC 1; b-CC 2)

The dependence of the potential on the amount of electricity (fig. 3) has no particular points, which is probably due to the formation of a solid electrolyte film of increased thickness, resulting in very low diffusion coefficients. The general nature of the diffusion coefficient dependence is also maintained at low temperatures. The specific capacitance of the electrode at reduced temperature is significantly reduced to 22 mAh/g.

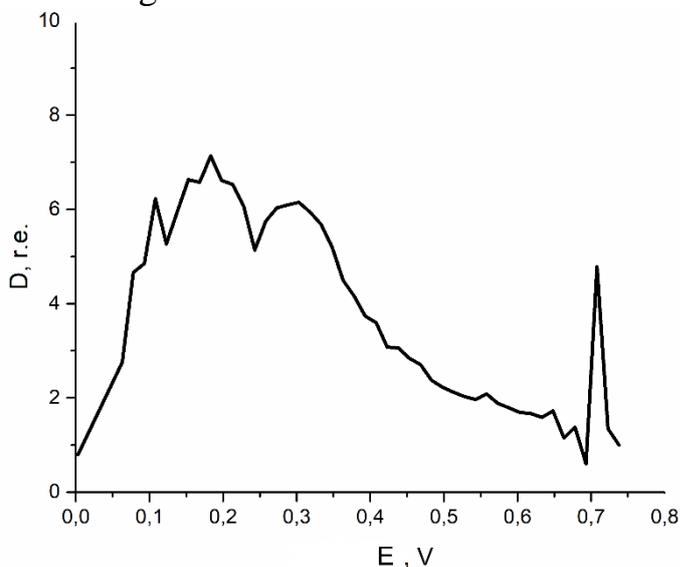


Fig. 3. Dependences of the diffusion coefficient on the potential of the CC 2 electrode at minus 40 °C

As can be seen, the proposed technology makes it possible to obtain composite coatings of tin-ultradisperse tin powder with a specific capacity reaching 980–1100 mAh/g, while the lithium diffusion coefficient in the material tends to increase during intercalation.

Composite tin-powder tin coatings produced from anodically synthesised electrolyte with dispersed phase remaining in the electrolyte are promising anode materials for lithium-ion batteries with a specific capacity of 1000-1300 mAh/g.

High specific characteristics of the materials are stipulated by additional possibilities of lithium intercalation in the composite coating intergranular space and high coefficients of lithium diffusion into this space constituting 10^{13} - 10^{15} cm²/s and increasing with intercalate stoichiometry increase.

References

1. Selection of modes of electrolytic tin powders for use in Li-ion batteries / M.S. Lipkin, V.M. Lipkin, T.V. et. al. // Proceedings of higher educational institutions. North-Caucasus region. Technical Sciences. 2021. № 4. Pp. 77–82.
2. Kulova T.L., Skundin A.M., Roginskaya Yu.E., Chibirova F.H. Intercalation of lithium in nanostructured films based on tin and titanium oxides // Electrochemistry. 2004. T. 40. № 4. С. 484–492.
3. Kedrinsky I.A., Yakovlev V.G. Lithium-ion batteries // Krasnoyarsk: ИПК "Platina", 2002. 266 с.
4. Korovin N.V., Skundin A.M. Chemical Power Sources: Reference Book: MPEI Publishing House, 2003. 740 с.
5. Tseluykin V.N. Composite electrochemical coatings: fabrication, structure, properties // Physical chemistry of surfaces and protection of materials. 2009. T. 45. № 3. С. 287–301.
6. Lipkin V.M., Moskalev Yu.G., Korbova E.V., Kuznetsov D.N. New technologies of composite electrodes of electrochemical capacitors // Proceedings of higher educational institutions. North-Caucasian region. Technical Sciences. 2022. № 2. С. 85–92.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ЭЛЕКТРО- И ТЕПЛОПРОВОДНЫЙ МАТЕРИАЛ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА

Н.С. Ерошенко

АО «Композит», Королёв,
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Получен композиционный материал на основе полимерной матрицы и графитового наполнителя, сопоставимый с конструкционным графитом. Полимерный композиционный материал обладает электро- и теплопроводностью, равной 526 См/см и 91 Вт/(м·К) соответственно. Определено минимальное количество наполнителя, равное 45 масс. %, при котором наблюдается эффект перколяции. Определена линейная зависимость изменения электро- и теплопроводящих свойств после достижения эффекта перколяции.

Ключевые слова: электро- и теплопроводящие полимеры, терморасширенный графит

Современная промышленность активно использует композиционные материалы, свойства которых варьируются в широких пределах в зависимости от состава и применяемых технологий изготовления.

Композиты электротехнического назначения должны обладать сложным комплексом физико-технических характеристик – высокая электро- и теплопроводность, низкий вес, хорошая механическая прочность и химическая инертность. Применяемые в данный момент композиты, к сожалению, не могут полностью соответствовать всем требованиям. Так при высокой тепло- и электропроводности материал обладает низкой коррозионной стойкостью и высокой плотностью, что утяжеляет конструкцию, а при низком весе и высокой теплопроводности, большинство материалов являются диэлектриками с высокой стоимостью. Данная работа направлена на создание универсального материала, сочетающего в себе низкий вес, высокую электро- и теплопроводность, стойкость к окислению и низкую стоимость.

В качестве полимерной основы было выбрано термореактивное связующее. К недостаткам всех полимерных термореактивных связующих можно отнести их высокие диэлектрические и теплоизоляционные свойства [1].

При введении в полимерную матрицу электропроводящих углеродных наполнителей происходит значительное снижение электрического сопротивления композиционного материала по сравнению с сопротивлением исходного полимера. В качестве наполнителя был использован терморасширенный графит (ТРГ) плотностью 100 г/дм³, в котором отсутствуют смолы и неорганические наполнители. Он стоек к большинству агрессивных сред, сохраняет высокие упругие характеристики и прочность, не теряет массу при длительной эксплуатации, не горюч, невзрывоопасен, не токсичен.

Использование ТРГ в качестве электропроводящего наполнителя для полимерной матрицы является наиболее перспективным для получения легких, износостойких полимерных композиций в производстве электротехнического оборудования, с целью повышения его технологичности, экономичности и надежности [2].

Наибольшее влияние на изменение физических свойств материала оказывают природа и степень наполнения композита углеродными частицами. Электро- и теплопроводность в полимерных композиционных материалах осуществляется за счет образования непрерывной пространственной сетки из частиц токопроводящего наполнителя, непосредственно контактирующих друг с другом. Теплопроводность материала линейно возрастает с ростом степени наполнения ТРГ (рис. 1, *а*). При степени наполнения более 45 масс.% ТРГ проявляется эффект перколяции, что подтверждается резким увеличением проводящих свойств композита (рис. 1, *б*).

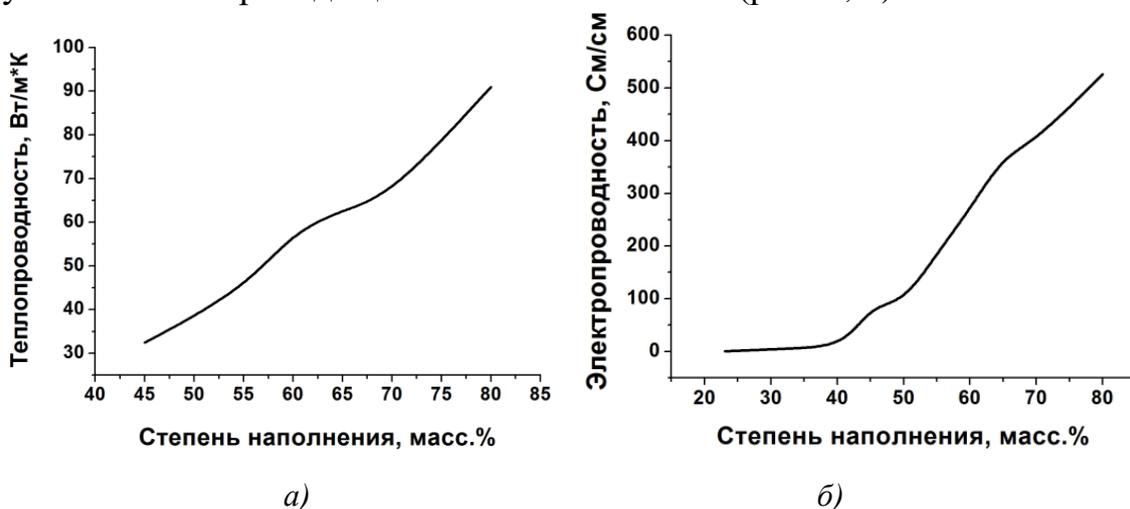


Рис. 1. Зависимость изменения физических характеристик композиционного материала от степени наполнения ТРГ, где *а*) изменение теплопроводности; *б*) изменение электропроводности

На рис. 2 представлены микрошлифы композита на основе терморезистивного связующего со степенью наполнения ТРГ 70 и 80 масс.%.

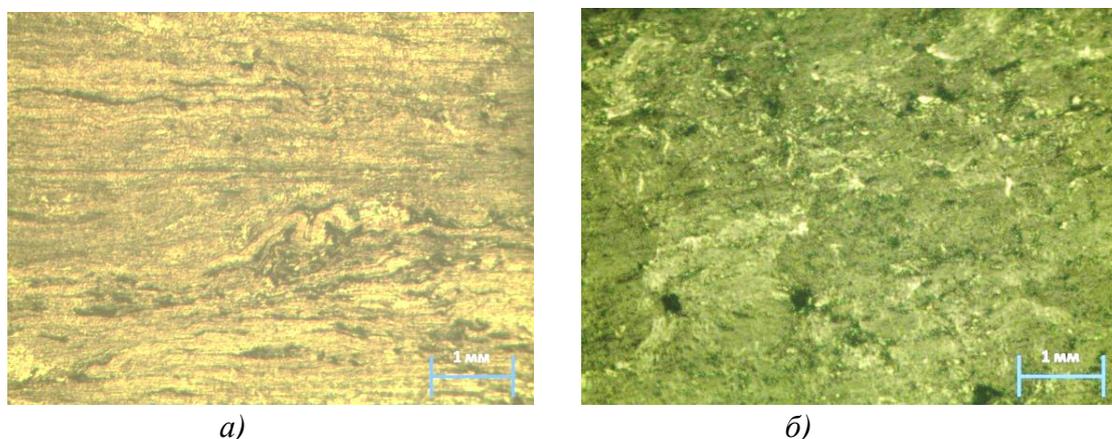


Рис. 2. Микроструктура композиционного материала со степенью наполнения ТРГ, где степень наполнения материала 70 масс.% (*а*) и 80 масс.% (*б*)

Таким образом, получены полимерные композиционные материалы на основе терморезистивного связующего и ТРГ с насыпной плотностью 100 г/дм^3 в качестве проводящего наполнителя. При степени наполнения более 45 масс.%, частицы ТРГ образуют проводящую сетку. Это позволяет материалу иметь высокую электро- и теплопроводность при степени наполнения 70–80 %, что обуславливает перспективы его применения в электротехнической отрасли.

Список источников

1. Разработки ФГУП «ВИАМ» в области расплавных связующих для полимерных композиционных материалов / Е.Н. Каблов, Л.В. Чурсова, А.Н. Бабин // Полимерные материалы и технологии. 2016. Т. 2. № 2. С. 37–42.
2. Электрические свойства полимеров: пер. с англ. / Э.Р. Блайт, Д. Блур. М.: Физматлит, 2008. 373 с.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА

Ю.В. Новиков, В.А. Момот, В.А. Куприяновская

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Исследована возможность синтеза шлакощелочных бетонов (ШЩБ) на основе сталеплавильного шлака металлургического производства АО «Таганрогский металлургический завод». Был проведен комплекс физико-химических исследований рассматриваемого сталеплавильного шлака, проведен синтез образцов ШЩБ, исследованы его прочностные свойства.

Ключевые слова: шлакощелочной бетон, сталеплавильный шлак, отходы металлургического производства

В настоящее время около 90 % произведенных в России шлаковых отходов захораниваются открытым способом. Металлургические шлаки при этом накапливаются в почве и сточных водах, разносятся ветром, отчуждают земли. Для российской металлургии проблема отходов имеет особую актуальность, вследствие высокого уровня их удельного образования на единицу металлопродукции – в 1,5–3 раза выше, чем в развитых странах [1]. Это обуславливает высокую ресурсо- и энергоемкость отечественных металлургических предприятий, и загрязнение окружающей среды в регионах их размещения.

Учитывая большие объемы образующихся металлургических шлаков, проблема их утилизации является актуальной, так как, во-первых, можно изготавливать на их основе качественные строительные материалы, а во-вторых, решать экологические проблемы с их хранением. Используемый металлургический шлак может быть переработан в строительные материалы, в частности, он может быть использован для получения шлакощелочных бетонов (ШЩБ), характеристики которых не уступают другим видам строительных материалов. Вторичное использование шлака повышает экономическую эффективность предприятия, а также решает проблему утилизации техногенных отходов.

Целью настоящей работы является исследование процесса переработки сталеплавильных шлаков с получением ШЩБ. Данный технологический процесс является особо перспективным в области переработки отходов металлургических производств.

ШЩБ представляют собой класс строительных материалов, где в качестве вяжущего компонента используются молотые шлаки, активированные щелочными растворами. Эти бетоны обладают рядом преимуществ, так как повышенная прочность, долговечность, устойчивость к коррозии и агрессивным средам, а также сниженное воздействие на окружающую среду за счет использования отходов в качестве вторичного сырья.

Кроме того, морозостойкость этих бетонов достигает марки F300, что гарантирует их надежность в условиях суровых климатических изменений. Результаты исследований показывают, что применение ШЩБ способствует не только эффективному использованию отходов металлургического производства, но и созданию высокопрочных, долговечных и экологически чистых строительных материалов. Таким образом, разработка и оптимизация технологий изготовления ШЩБ имеют важное значение для строительной индустрии и охраны окружающей среды.

Известно, что ШЩБ обладает рядом свойств, которые обеспечивает возможность использование его для бетонирования массивных конструкций. Отличительной чертой ШЩБ от прочих минеральных вяжущих состоит в том, что они затворяются водными растворами щелочей, что способствует твердению бетона при низких температурах. При избытке щелочного компонента, он не вступает в реакцию со шлаком, а выступает на поверхность тела образцов. Сроки схватывания регулируются в зависимости от тонкости помола шлака, используемого щелочного компонента и концентрации раствора. Начало схватывания ШЩБ обычно от 20 минут до 1 часа, конец схватывания от 2 до 5 часов. Прочность ШЩБ интенсивно нарастает в течении первых 7 суток, по прохождению 28 суток прочность нарастает с меньшей интенсивностью.

Для исследования возможности применения сталеплавильных шлаков для получения ШЩБ был использован сталеплавильный шлак металлургического производства АО «Таганрогский металлургический завод». Для исследования свойств исследуемого шлака был проведен ряд исследований. С помощью рентгенофлуоресцентного анализа был исследован химический (оксидный) состав исследуемого отхода, приведенный в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав сталеплавильного шлака металлургического производства АО «Таганрогский металлургический завод»

Материал	Содержание оксидов, % по массе									
	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	SrO	ППП
Шлак	5,72	15,62	14,65	0,09	49,03	0,31	0,018	3,15	0,295	-11,6

Как видно из табл. 1, исследуемый отход содержит в себе значительное количество оксидов кальция, кремния и железа, в связи с чем может быть использован для получения ШЩБ.

С помощью электронной сканирующей микроскопии, был исследована микроструктура сталеплавильного шлака (рис. 1).

На рис. 1 показана структура шлака порфировподобная, близкая к интерсертальной и сферолитовой. Строение основной массы шлака полнокристаллическое, локализуется в интерстициях между вкрапленниками минеральных агрегатов псевдоволластонита, фаялита, диопсида и скелетных образований ольдгамита. Также в шлаке отмечаются участки, выполненные пучкообразными агрегатами стекла неправильной формы [2].

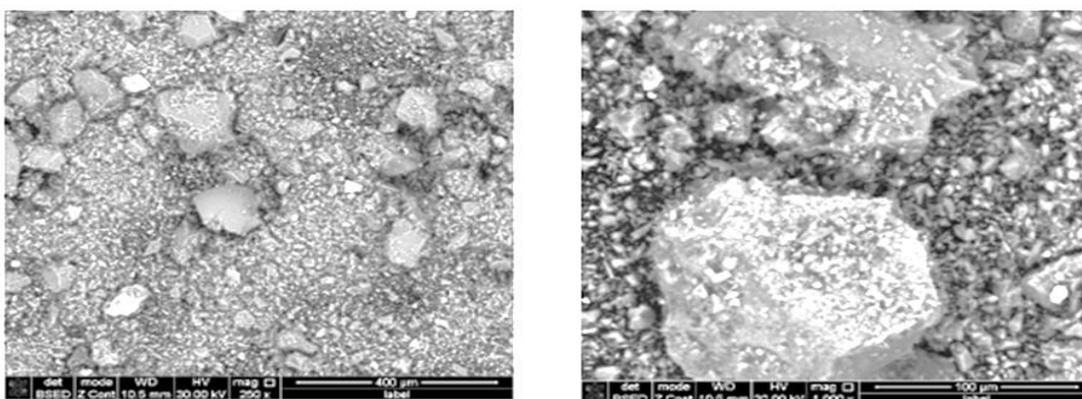


Рис. 1. Микроструктура сталеплавильного шлака металлургического производства АО «Таганрогский металлургический завод»

Был исследован фазовый состав сталеплавильного шлака. Полученная в ходе исследований рентгенограмма приведена на рис. 2.

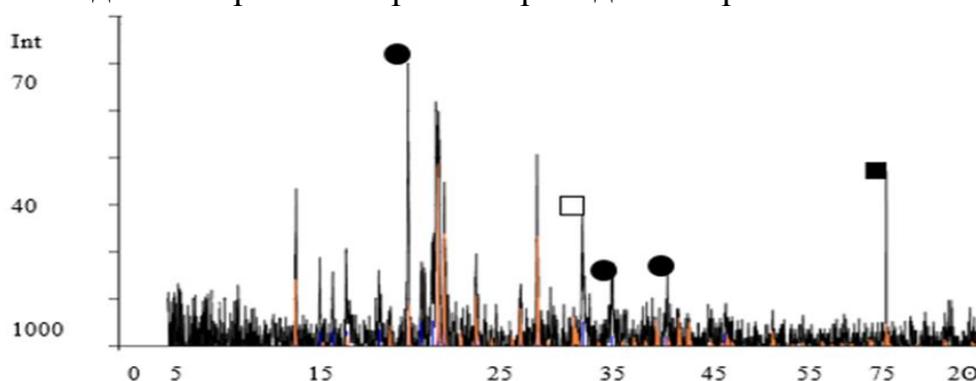


Рис. 2. Рентгенограмма сталеплавильного шлака металлургического производства АО «Таганрогский металлургический завод»:

● – CaCO_3 , ■ – $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, □ – Ca_2SiO_4

Как видно из рис. 2, в рассматриваемом образце наблюдаются кристаллические фазы карбоната кальция CaCO_3 , ларнита Ca_2SiO_4 и $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Основными кристаллическими фазами в шлаке, являются диопсид $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$, энстатит $\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ и $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$. Кроме того, наблюдается значительное количество гало, свидетельствующее о наличии в шлаке аморфной фазы.

Для исследования возможности получения ШЩБ, был разработан сырьевой состав, приведенный в табл. 2.

Таблица 2 – Сырьевой состав для получения ШЩБ

Компонент	Сталеплавильный шлак	Натриевое жидкое стекло	12 М водный раствор NaOH
Содержание, % по массе	75,0	22,5	2,5

Сталеплавильный шлак подвергали сушке при температуре 110 °С до достижения постоянной массы, помолу в шаровой мельнице и просеиванию через сито с размером отверстий 250 мкм Щелочной активатор готовили путем смешения водного раствора натриевого жидкого стекла (содержание основного вещества – 45 %) и 12М водного раствора гидроксида натрия.

Подготовленный сталеплавильный шлак смешивали с раствором гидроксида натрия в течение 10 минут, после чего полученную смесь помещали в кубические формы с размером граней 30 мм. Образцы выдерживали при комнатной температуре в течение 14 суток, после чего исследовали их механические свойства.

Внешний вид синтезированного образца ШЩБ приведен на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид синтезированного образца ШЩБ

Как видно из рис. 3, полученный образец ШЩБ, обладает плотной структурой, содержащей незначительные газовые включения, образовавшиеся на этапе приготовления сырьевой смеси.

Прочность на сжатие исследуемых образцов исследовали с помощью испытательного пресса, согласно ГОСТу 10180-2012. В результате испытаний образцов, было установлено, что их средняя прочность составляет 25 МПа, что соответствует марки бетона М250. Таким образом разрабатываемый ШЩБ возможно использовать в строительстве жилых объектов, дорожном хозяйстве, благоустройстве территорий и т.д.

Таким образом, в ходе работы была исследована возможность синтеза ШЩБ на основе сталеплавильного шлака металлургического производства АО «Таганрогский металлургический завод». Был исследован химический и фазовый составы исследуемого шлака, а также микроструктура, подтвердившие возможность его использования для производства ШЩБ. Был разработан сырьевой состав ШЩБ, проведен его синтез и исследованы механические свойства, которые показали, что полученный ШЩБ соответствует марки бетона М250.

Список источников

1. Харузин А.В., Исмагилова Г.В. Кейс АО ТАГМЕТ: управление использованием вторичных ресурсов в производстве // XVII междунар. конф. "Российские регионы в фокусе перемен": сб. докладов. Екатеринбург, 2022. ООО Издательский Дом «Ажур», 2023. С. 142–145.

2. Уэндландт У. Термические методы анализа / Пер. с англ. под редакцией В.А. Степанова и ВА. Берштейна. М.: Мир, 1978. 527 с.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СИНТЕЗА СТЕКЛОВИДНЫХ ПОЛИФОСФАТОВ КАЛИЯ

Ю.В. Новиков

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассмотрены теоретические аспекты синтеза стекловидных полифосфатов калия из ортофосфорной кислоты и карбоната калия. Приведены механизмы взаимодействия сырьевых компонентов, а также химические превращения в результате их температурной обработки. Проведен синтез пилотных образцов стекловидных полифосфатов калия, исследован их провар и водорастворимость.

Ключевые слова: минеральные удобрения, полифосфаты, фосфатные стекла, сельское хозяйство

Одним из важнейших факторов развития сельского хозяйства и агропромышленного производства, является его химизация, и в первую очередь, разработка и внедрение эффективных минеральных удобрений. Известно, что особым спросом в сельском хозяйстве пользуются фосфорные удобрения. Они способствуют повышению урожайности сельскохозяйственных культур, росту корневой системы растений.

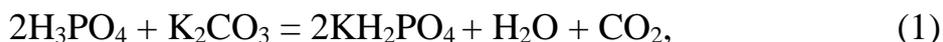
Чаще всего, в качестве фосфорных удобрений используются кристаллические фосфатные соли или их смеси с другими компонентами, такие как суперфосфаты, нитроаммофосы, фосфаты калия и др. Главным недостатком кристаллических фосфатных удобрений является их неконтролируемая вымываемость из почв, что ведет к снижению их эффективности, а также загрязнению окружающей среды. В связи с этим, актуальной является разработка производства новых форм фосфорных удобрений, среди которых особое место занимают стекловидные полифосфаты, получаемые термической обработкой кристаллических форм фосфатных солей.

Полифосфатами называются соединения, в которых два и более атома фосфора соединены между собой атомами кислорода и образующие полимерные цепи различной длины. Формула стекловидных полифосфатов может быть выражена в виде соотношения $K(Na)_2O/P_2O_5$ [1].

Известно, что стекловидные фосфаты обладают низкой химической стойкостью и высокой биохимической активностью, что и является основополагающим фактором их эффективного агрохимического действия. Кроме того, за счет введения в структуру полифосфатных стекол различных добавок, возможно контролировать скорость их растворения.

Полифосфаты калия являются высококонцентрированными минеральными удобрениями, которые получают путем переработки фосфорных кислот и калийсодержащих солей. Аморфные формы полифосфатов синтезируют при температуре, превышающей 620 °С и дальнейшем быстрым охлаждением расплава. Содержание общего P_2O_5 в полифосфатах калия в зависимости от условий их синтеза составляет 58–60 % [2].

Первым этапом синтеза полифосфатов калия, является взаимодействие концентрированных растворов ортофосфорной кислоты и калийсодержащей соли, чаще всего – карбоната калия (реакция 1 и 2):



Как видно из реакций 1 и 2, в ходе взаимодействия избытка ортофосфорной кислоты с карбонатом калия, образуется смесь дигидроортофосфата и гидроортофосфата калия. В ходе нагревания данной смеси, при 245 °С происходит образование трехзамещенного пиррофосфата калия (реакция 3):



При дальнейшем нагревании смеси, ход реакций в первую очередь определяется мольным соотношением сырьевых компонентов. Так, например, избыточное количество дигидроортофосфата калия ведет к медленному образованию метафосфата калия при 255 °С (реакция 4):



При избытке гидроортофосфата калия нагревание до более высоких температур приводит к образованию триполифосфата калия (реакция 5):



Изменение степени превращения ортофосфатов в полифосфаты зависит от температуры. Так, при 160–200 °С, реакция дегидратации смеси дигидроортофосфата и гидроортофосфата калия протекает на 5–15 %, при 300 °С – на 77 %, и при 350 °С – на 93 %. При этом, практически полная дегидратация смеси происходит при 400 °С. Реакционная смесь, прокаленная при температуре ниже 550 °С, представляет собой спекшуюся массу, при 550–650 °С – наступает размягчение смеси, при 650–700 °С – ее плавление. Важно подчеркнуть, что необходимым условием получения стекловидных полифосфатов калия, является относительно быстрое нагревание смеси, в ходе которого не образуется твердой корки метафосфатов калия, препятствующей, кроме того, выделению связанной воды из кристаллов ортофосфатов. Также, благоприятным фактором получения полифосфатов, является наличие некоторого избытка ортофосфорной кислоты в реакционной смеси.

Для исследования процессов синтеза стекловидных полифосфатов калия была разработана следующая технология. В качестве исходных сырьевых компонентов для получения целевого продукта использовали ортофосфорную кислоту марки ЧДА (ГОСТ 6552-80, $\rho = 1,68 \text{ кг/м}^3$, $C_{\text{p-ра}} = 85 \%$ по массе) и карбонат калия марки ЧДА (ГОСТ 4221-76). Для синтеза стекловидного полифосфата калия была использована смесь сырьевых компонентов, содержащая 30 % K_2O и 70 % P_2O_5 . Смесь готовили путем смешения заданных количеств карбоната калия и ортофосфорной кислоты в химическом стакане.

В ходе смешения компонентов образуется бурное газовыделение за счет выделения диоксида углерода, сопровождающееся вспениванием реакционной смеси. После окончания реакции взаимодействия карбоната калия

и ортофосфорной кислоты, реакционную смесь, представляющую собой раствор дигидроортофосфата и гидроортофосфата калия, а также непрореагировавшей ортофосфорной кислоты, помещают в алундовый тигель и подвергают нагреванию в камерной электропечи до 900 °С (скорость нагрева печи – 5 °С/мин) и выдерживают при этой температуре в течение 1 часа. После окончания температурной обработки, полученный расплав выливают на металлический гофрированный лист в результате чего происходит его быстрое охлаждение с образованием аморфного стекловидного материала. Провар полученной массы определяли с помощью метода «проба на нить», который заключается в опускании металлического стержня в размягченную стекломассу и формирования нити путем вытягивания. Полученная нить обладала гладкой блестящей поверхностью, не содержащей гетерогенных включений, что свидетельствует о полной проварке полученной стекломассы.

Внешний вид полученного стекловидного полифосфата калия представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид синтезированного стекловидного полифосфата калия

Как видно из рис. 1, полученный продукт обладает однородной стекловидной структурой, не содержит в себе газовых и кристаллических включений. Было установлено, что образец исследуемого полифосфата калия полностью растворим в дистиллированной воде, в связи с чем в дальнейших исследованиях планируется корректировка его химического состава путем введения модифицирующих добавок, снижающих водорастворимость готового продукта, таких как карбонат кальция, оксид магния, апатитовый концентрат и другие. Таким образом, в ходе данной работы был проведен теоретический обзор синтеза стекловидных полифосфатов калия, исследованы механизмы взаимодействия сырьевых компонентов, а также их превращения в ходе температурной обработки. Был проведен синтез пилотных образцов стекловидного полифосфата калия, в ходе которого был получен водорастворимый стекловидный материал, не содержащий посторонних примесей и включений.

Список источников

1. Грей Дж. Р. Дарли Г.С.Г. Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей): пер. с англ. М.: Недра, 1985. 509 с.
2. Кочетков В.И. Фосфорсодержащие удобрения: справочник / Под ред. проф. А.А. Соколовского. М.: Химия, 1982. 400 с.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК-ПЛАВНЕЙ НА СПЕКАНИЕ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ

Б.М. Гольцман, А.Е. Пантелеева, Ю.А. Бостанов

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассмотрено влияние добавок-плавней на спекание глинистых минералов.

Ключевые слова: керамика, глина, плавни, спекание, силикатное сырье

Название «керамика» произошло от греч. *keramike* – искусство изготовления изделий из глины. Керамическое производство – самое древнее из всех силикатных производств, а его основной сырьевой материал – глина [1]. Глина представляет собой сложную смесь мелкодисперсных минералов, состоящих преимущественно из гидратированных алюмосиликатов, а также различных количеств других минералов, таких как кварц, полевой шпат и слюда [2].

Свойства керамических материалов определяются применяемыми исходными сырьевыми материалами, методами их переработки и технологическими режимами термической обработки. На свойства керамических материалов решающее влияние оказывает их строение. Поэтому в основу общепринятой классификации положена структура пор керамических материалов. Они подразделяются на два класса: 1) пористые, дающие землистый излом и пропускающие воду (без глазурирования); 2) спекшиеся, дающие блестящий раковистый излом и не пропускающие воды.

Каждый из этих классов в зависимости от свойств и структуры черепка, его внешнего оформления, а также применения изделий подразделяется на группы (например, грубо- и тонкозернистые, глазурированные и неглазурированные, огнеупорные и кислотостойкие и т. д.). Универсальную классификацию керамических материалов и изделий разработать чрезвычайно трудно. Поэтому керамические изделия чаще всего классифицируют по производственно-отраслевому признаку, позволяющему отразить свойства изделий, область применения и в значительной степени способ производства [1].

Определяющим процессом в производстве качественных керамических материалов является обжиг изделия, т.е. происходит спекание керамики, в результате чего сырец из смеси слабосвязанных частиц превращается в прочное твердое тело. Керамика включает процессы высокотемпературного обжига для спекания или остекловывания материалов при температуре от 800 до 1400 °С. При спекании керамики протекают разнообразные физико-химические процессы – уменьшение объема и пористости тела, разложение исходных сырьевых материалов, полиморфные превращения, химические реакции взаимодействия с образованием новых кристаллических, стекловидных и газовых фаз, растворение кристаллов в расплаве или кри-

сталлизация их из расплава. Основными признаками спекания керамики являются повышение плотности и механической прочности, снижение пористости и водопоглощения материала [1].

Снижение температур обжига керамики позволяет минимизировать термические напряжения, сохранить свойства материала и экономить энергию. Достичь этого можно оптимизацией режима термической обработки или введением добавок. Вещества, используемые для снижения температуры обжига и плавления, называются плавнями (флюсами). Основным применением плавней в силикатной промышленности является интенсификация процессов, проходящих в условиях термической обработки материалов, а также снижение температуры плавления. Использование плавней в сырьевой смеси приводит к образованию легкоплавких фаз и связыванию зерен в единую монолитную массу [3]. Применение плавней позволяет существенно повысить энергоэффективность производства силикатных материалов за счет снижения затрат на их термическую обработку. Чаще всего в качестве плавней применяют полевошпатовые минералы и карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов [4]. Однако их эффективность сильно зависит от ряда факторов, изучение которых и является целью данной работы.

В качестве основного сырья была использована глина ВКС-1 Владимирского месторождения (Россия). В качестве плавней были рассмотрены следующие вещества: гидроксид натрия NaOH, фторид натрия NaF, карбонат натрия Na₂CO₃, тетраборат натрия Na₂B₄O₇.

Обжиг смесей глины с плавнями при температурах 900, 1000 и 1100 °C показал следующее. После обжига образцы с NaOH имеют плотность 1181, 1396, 1934 кг/м³ соответственно, цвет неоднородный: присутствуют участки терракотового и светло-бежевого цветов. Такое изменение плотности наблюдается в следствии взаимодействия NaOH с глинистыми минералами в результате образуются щелочные алюмосиликаты, это же взаимодействие приводит к структурным изменениям, поэтому образец имеет два типа структуры, что может быть вызвано разным содержанием натрия.

Образцы с добавлением NaF имеют плотность 1350, 1495, 1490 кг/м³ соответственно. Цвет образцов изменяется со светло-бежевого до темно-коричневого, а поры приобрели блеск, что свидетельствует об образовании стеклофазы. Добавление NaF вызвало сильное спекание и частичное плавление образца, потому что он способствует образованию более жидкого расплава, облегчая слияние частиц и усиливая процесс уплотнения.

Также цвет меняют при обжиге и образцы с добавлением Na₂CO₃, при этом их плотность растет в следующей последовательности: 1091, 1511, 1890 кг/м³. Такое увеличение плотности объясняется тем, что термическое разложение карбоната при температуре 700 °C и выше способствует образованию щелочного оксида натрия Na₂O, способствующего спеканию керамических масс.

Образцы с $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ после обжига имеют однородную структуру, без сильных изменений цвета, пор и других неоднородностей. Плотность образцов составляет 1350, 1495, 1655 кг/м^3 . Соединения бора способствуют стеклованию керамики, способствуя образованию стеклообразной фазы во время обжига. В процессе спекания ионы бора реагируют с кремнеземом и другими флюсами, присутствующими в керамическом теле, образуя стеклообразную фазу низкой вязкости при более низких температурах. Эта стеклообразная фаза действует как связующая матрица, способствуя уплотнению и плавлению керамических частиц. Присутствие соединений бора также снижает энергию активации, необходимую для вязкого течения, что позволяет более эффективно перестраивать и уплотнять частицы.

Был проведен рентгенофазовый анализ образцов, представленный на рис. 1.

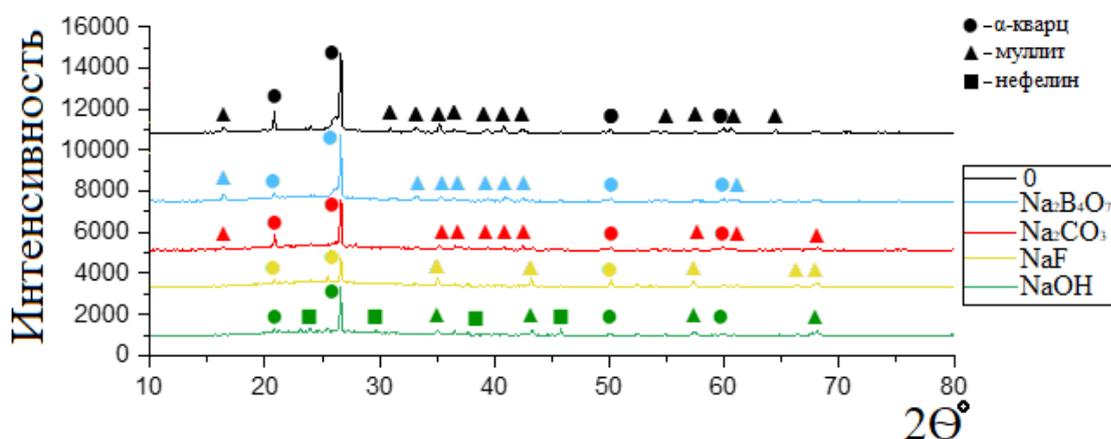


Рис. 1. Рентгенофазовый анализ состава глинистых образцов

Из рисунка видны следующие изменения фазового состава при введении плавней. Глина без флюсующих добавок содержала кристаллические фазы муллита и α -кварца – 2,42 % и 14,39 % соответственно, а также 83,19 % аморфной фазы. При добавлении $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, содержание муллита возрастает до 18,48 %, а α -кварца падает до 8,85 %. Помимо этого, образуется кристаллическая фаза нефелина в количестве 0,28 %, а содержание аморфной фазы падает до 72,39 %. У образцов с добавлением Na_2CO_3 , увеличивается содержание муллита и уменьшается содержание α -кварца, похожие изменения происходят и с образцами с добавлением тетрабората натрия – до 5,40 % и 7,90 % соответственно, содержание аморфной фазы увеличилось до 86,71 %. Добавление в глину флюсующей добавки NaF, привело к значительному уменьшению кристаллической фазы муллита и кварца, до 0,85 % и 4,27 % соответственно, образуется небольшого количества кристаллической фазы фтористого натрия в количестве 0,41 %, а также увеличивается аморфная фаза до 94,46 %. У образцов с добавлением NaOH уменьшается содержание кристаллических фаз муллита до 0,53 % и α -кварца до 4,14 %, при этом как и у $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, образуется нефелин в количестве 0,95 %, аморфная фаза увеличивается до 94,41 %.

Таким образом, все рассмотренные добавки обладают флюсующими свойствами, что способствует повышению эффективности обработки, качества продукции и ее долговечности. Добавление всех исследованных плавней приводит к спеканию частиц глины. Чем выше их содержание, тем выше скорость спекания и плавления, что выражается в сглаживании краев частиц и образовании монолитной структуры. Плавление $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ведет к слабому порообразованию, снижению объема аморфной фазы, а также образованию небольшого количества нефелина. Плавление Na_2CO_3 приводит к более явному образованию пор и небольшому увеличению аморфной фазы. Плавление NaF помимо вспенивания образца, привёл к его оплавлению, а также максимальному увеличению аморфной фазы. Плавление NaOH меньше всего повлиял на порообразование образца, содержание аморфной фазы в нём лишь немногим уступает NaF , но помимо этого, щелочной флюс также, как и тетраборат натрия приводит к образованию нефелина. Следовательно, самым эффективных плавнем можно считать NaF , из-за самого большого содержания аморфной фазы, а также это единственный флюс, который привёл к оплавлению образца. Самым эффективным плавнем можно считать NaF , т.к. он единственный привел к оплавлению образца и формированию большого количества аморфной фазы без значительной потери в плотности.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-79-01004.

Список источников

1. Бобкова Н.М., Дятлова Е.М., Куницкая Т.С. Общая технология силикатов: учеб. для вузов- Мн.: Выш. шк., 1987. 288 с.
2. Солодкий Н.Ф., Шамриков А.С., Погребенков В.М. Минерально-сырьевая база Урала для керамической, огнеупорной и стекольной промышленности: справ. пособие / Под ред. проф. Масленниковой Г.Н. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. 332 с.
3. Шишакина О.А., Паламарчук А.А. Применение плавней в производстве керамических материалов // Междунар. жур. прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 11. С. 105–109.
4. Салахов А.М. Современные керамические материалы. Казань: КФУ, 2016. 407 с.
5. Christian Thieme (2000), Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Weinheim: Wiley-VCH, ISBN 978-3527306732.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТИВАНДАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЭМАЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

А.Ю. Фанда, С.В. Трофимов

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Предложена методология проверки антивандальных качеств облицовочных панелей с различными покрытиями для оценки их устойчивости к механическому воздействию, к нанесению и последующему удалению «граффити», огнестойкости.

Ключевые слова: эмалевые покрытия, антивандальные свойства, облицовочные панели, покрытие для стали

Разработка и внедрение антивандальных покрытий в настоящее время является актуальной задачей не только для России, но и практически для всего мира. Только в Москве за прошедший год коммунальные службы удалили более 6000 рисунков и надписей с различных поверхностей, будь то пешеходные переходы, стены жилых домов, станции метрополитена или транспортные тоннели – от антисоциального поведения не защищено ни одно сооружение.

В настоящее время не существует методики и ГОСТов для проверки облицовочных покрытий на устойчивость к вандализму. Исходя из этого, в разрабатываемой методике в качестве испытаний были выбраны несколько свойств и параметров, наиболее характеризующие устойчивость облицовочных панелей к вандальным воздействиям: твердость покрытия, стойкость к удалению «граффити», огнестойкость и светостойкость.

Поэтому далее были проведены сравнительные исследования антивандальных свойств разных облицовочных панелей. В качестве образцов для испытаний были использованы синтезированные ранее составы [1,2] окрашенных покровных белой (Б) и прозрачной (П) эмалей, а также образец стали с полиэфировым покрытием «Velur» завода «Grand Line».

В качестве метода определения устойчивости к царапанию использовался параметр твердости изделия, оценивающийся по минералогической шкале твердости Мооса. [3] Результаты проведенного испытания на твердость образцов с синтезированными эмалевыми покрытиями Б и П и образца с полиэфировым покрытием «Velur» (рис. 1).



Рис. 1. Диаграмма результатов испытания на твердость образцов шкалой Мооса

Из полученных данных рис. 1 видно, что синтезированные стеклоэмалевые покрытия обладают наибольшей твердостью, 6 единиц, что является вполне достаточным для сопротивления большинству видов царапин при вандальном воздействии, при котором в основном используются материалы с твердостью, не превышающей 2,5–4,0 единицы. Другое испытанное полиэфирное покрытие «*Velur*» характеризуется гораздо меньшей твердостью твердостью 3 единицы.

Покрытия облицовочных панелей для сооружений общественного характера являются наиболее подверженными риску быть испорченными вандалами. Одно из проявлений вандализма это нанесение надписей или рисунков, так называемых «граффити», на поверхность облицовочных панелей. Покрытие не обязательно необходимо быть устойчивым к нанесению рисунка, достаточно того, чтобы «граффити» легко поддавалось удалению без нарушения целостности покрытия или изменения цветовых характеристик. Так как не существует нормативов, регламентирующих степень устойчивости облицовочного покрытия к нанесению или удалению «граффити», была разработана методика стойкости к удалению при использовании органического растворителя оценочной системы по 5-ти бальной шкале:

5 баллов – покрытие не изменяет цветовые характеристики, причем происходит полное удаление нанесённой краски;

4 балла – не нарушает целостность покрытия, но и не удаляются все загрязнения, вследствие чего незначительно изменяется цветовой тон;

3 балла – происходит частичное удаление нанесенной краски, причем происходит значительное изменение цветовых характеристик изделия, без нарушения целостности покрытия;

2 балла – происходит частичное удаление нанесенной краски, при значительном изменении цветовых характеристик изделия, без нарушения целостности покрытия;

1 балл – растворитель нарушает целостность покрытия до металла.

Испытание проводилось с помощью алкидной атмосферостойкой аэрозольной краски, наносившейся пульверизацией до получения равномерного блестящего слоя. Процесс сушки осуществлялся при комнатной температуре в течение 15 минут на отлив и затем в течение 2 часа до полного высыхания, а далее в течение 48 часов до полного затвердевания. Удаление краски проводилось после каждого этапа высыхания. Процесс удаления алкидной краски на различных этапах высыхания на эмалевых покрытиях и сравниваемом покрытии представлен в табл. 1.

Сравнительный анализ Результаты данных, приведенных к методике оценочной системы по разработанной 5-ти бальной шкале, представлены на рис. 2.

Таблица 1 – Процесс удаления краски с испытуемых образцов

Испытуемый образец	Прошедшее время после нанесения алкидной краски			
	0 минут	15 минут, сухая губка	2 часа, губка с моющим средством	48 часов, губка с растворителем
Синтезированное покрытие Б				
Синтезированное покрытие П				
Сталь с полиэст- ровым покрытием «Velur»				

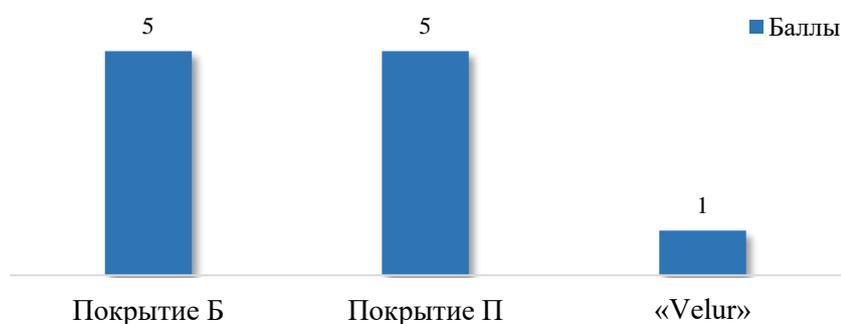


Рис. 2. Результаты полученных данных устойчивости покрытия к удалению краски

Из полученных данных видно, что синтезированные покрытия характеризуются наивысшим баллом 5 по отношению к устойчивости при удалении краски. Алкидная краска, набравшая твердость по истечению 48 часов, полностью удаляется достаточно легко с поверхности покрытий Б и П с помощью растворителя, а покрытие не изменяет цветовые характеристики и ее целостность не нарушается. Панель из оцинкованной стали *Grand Line* с покрытием из полиэстера «Velur» характеризуется наименьшей устойчивостью, так как воздействие растворителя удалило все загрязнения вместе с полиэстеровым слоем, что нарушило целостность покрытия.

Способность строительных изделий сдерживать распространение огня и не поддаваться горению являются важнейшими свойствами архитектурно-строительных материалов. Сохранение необходимых эксплуатационных характеристик при высоких температурах характеризуется пределами огнестойкости. В настоящее время не существует ГОСТа и Технических условий, регламентирующих способность покрытий противостоять пожару, а имеются ГОСТы, устанавливающие огнестойкость несущих конструкций здания, а также безопасность радиостанций и радиоэлектронной аппаратуры (ГОСТ Р 50829-95).

В качестве методики исследования был использован ГОСТ Р 50829-95, согласно которому испытания необходимо проводить с помощью испытательной установки без воздушной тяги, представляющей собой горелку, способную давать голубое пламя 25 ± 2 мм, используемый газ – чистый метан, воздействие открытого огня на изделие в течение 30 секунд.

Считается, что образец выполнил испытание если:

- не произошло воспламенение образца, либо выделения токсичных веществ;
- пламя, горящие или раскаленные отколовшиеся частицы не привели к распространению огня;
- по истечению 30 секунд на нем отсутствовало свечение или пламя;
- не произошло сильное разрушение образца, оговоренное ранее.

В качестве приборов для проведения испытания использовались штатив для удержания высокотемпературной платина-платинородиевой термопары (тПП), позволяющей измерять температуру до 1600 °С в окислительной атмосфере, горелка туристическая с пьезоэлектрическим розжигом, баллон с пропан-бутановой смесью.

В качестве образцов использованы: образец со стеклоэмалевым покрытием Б с введенным в него пигментом и сталь с полиэстровым покрытием «Velur». Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты проведенных испытаний на огнестойкость

Название образца	Фото образца	Время выдержки без нарушения целостности покрытия, ч:мин:с	Результат испытания
Стеклоэмалевый образец с синтезированным покрытием Б		00:02:43, оплавление покрытия	Пройдено. Незначительное оплавление покрытия.
Сталь с полиэстровым покрытием «Velur»		00:00:15	Пройдено. Произошло частичное сгорание полиэстрового слоя.

Из полученных данных сформировывается вывод, что синтезированные стеклоэмалевые покрытия обладают наивысшими показателями огнестойкости благодаря тугоплавким оксидам, таким как оксид кремния и диоксид титана. Сталь с полиэстровым покрытием «Velur» показало хороший результат. При длительном воздействии огня, покрытие полностью сгорает до пепла.

Для оценки изменения декоративных характеристик существуют различные стандарты – визуально (с помощью серой шкалы по ГОСТ ISO 105–A02–2013) и инструментально (оценка изменения ΔE по – ГОСТ Р 52490–2005). Метод оценки условной светостойкости, характеризующей потерю цвета материала под воздействием солнечного света, по

ГОСТ Р 52490–2005 является наиболее точным для определения изменения окраски эмалированных поверхностей панелей. В соответствии с методикой проведены измерения цветовых характеристик эмалированных покрытий до и после воздействия УФ-излучения в течение 24 часов и установлено, что условная светостойкость составляет $\Delta E \leq 0,5$ [4,5].

Таким образом, разработана методология проверки антивандальных качеств облицовочных панелей с различными покрытиями для оценки их устойчивости к механическому воздействию, к нанесению и последующему удалению «граффити», огнестойкости. В результате установлено, что испытуемые синтезированные ранее покрытия Б и П по сравнению с образцом стали с полиэфирным покрытием «*Velur*» завода «*Grand Line*» характеризуются наилучшими показателями и антивандальных свойств: твердость по Моосу – 6; удаление затвердевшей алкидной краски – 5 баллов (полное удаление без изменения свойств); огнестойкость – не поддерживает горение (оплавляется за 2,43 минуты при 1270 °С); светостойкость – $\Delta E \leq 0,5$.

Список источников

1. Development of Compositions of New Enamel Coatings with Various Operational and Decorative Properties to Protect Steel Architectural and Construction Panels / A.V. Ryabova, A.Y. Fanda, E.A. Yatsenko, Ming-Gin Lee // Materials Science Forum. – Trans Tech Publications Ltd, 2021. Vol. 1037. Pp. 684–692. DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.1037.684

2. Фанда А.Ю., Рябова А.В., Трофимов С.В. Функциональные стеклокристаллические покрытия для стальных архитектурно-строительных панелей // Машиностроительные Технологические Системы (METS21) -2021: междунар. науч.-техн. конф., г. Азов, 26 – 29 мая 2021 г.

3. Брагина Л.Л., Зубехин А.П. Технология эмали и защитных покрытий: учеб. пособие. Харьков: НТУ «ХПИ»; Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2003. 484 с.

4. Цветные стеклоэмалевые покрытия для стальных архитектурно-строительных панелей / А.В. Рябова, В.Д. Ткаченко, А.Ю. Фанда // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки 2023. № 1. С. 80–90.

5. Система CIE Lab для оценки оттенков белых стеклокристаллических эмалевых покрытий / А.Ю. Величко, К.А. Фанда, А.В. Рябова // Интеллектуальный и научный потенциал XXI века: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. г. Казань, 20 дек. 2016 г. г. Казань, 2016. Ч. 4. С. 42–44.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

TECHNOLOGY DEVELOPMENT FOR THE PRODUCTION OF COATINGS BASED ON Co-Mn SPINEL USING ALTERNATING ASSYMMETRICAL CURRENT

A.V. Khramenkova, O.A. Finaeva, D.N. Izvarina

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

Abstract. A new technology development for the production of coatings based on Co-Mn spinel is carried out.

Keywords: solid-oxide fuel cells, non-stationary electrolysis, coatings, cobalt-manganese spinel, interconnects

Solid oxide fuel cells (SOFC) are electrochemical devices designed for the direct efficient conversion of organic fuel into electrical energy [1,2]. At the same time, there is a problem associated with the degradation of interconnects. Under oxidative conditions at high temperatures, volatile chromium compounds are formed, which leads to poisoning of the cathode material; in addition, the formation of chromium oxides reduces electrical conductivity.

One of the most promising and effective approaches to ensuring a long service life of interconnects is the deposition of protective coatings on their surface, among which coatings based on oxide compounds of cobalt and manganese with a spinel structure should be considered one of the most promising.

This paper presents the results of obtaining protective Co-Mn oxide coatings with a spinel structure on the surface of stainless steel using the non-stationary electrolysis method.

Formation of coatings was carried out on the pre-treated surface of Crofer 22 APU steel under the action of alternating asymmetric current of industrial frequency, representing two semisinusoids of different amplitude. Nickel was counter electrodes. The electrochemical cell was a glass thermostatted electrolyser with a capacity of 200 ml, in which the working electrode, counter electrode, magnetic stirrer and thermometer were placed. Crofer 22 APU stainless steel was used as the working electrode, and nickel was used as the counter electrode. The main components of the electrolyte were cobalt nitrate ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$); cobalt chloride ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$); nickel chloride ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$); boric acid (H_3BO_3); manganese sulfate ($\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), surfactant. All reagents used were of chemically pure grade without further purification. Cobalt nitrate ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) was sequentially dissolved in the first glass, manganese sulfate ($\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) and stirred for 30 minutes. In the second glass, a solution containing nickel chloride ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) and cobalt chloride ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) were prepared and also stirred for 30 minutes using a magnetic stirrer. Then the first and second solutions were drained and 1 mol. boric acid solution (H_3BO_3) was added with stirring. Deposition of coatings was carried out under conditions of non-stationary electrolysis under the action of alternating sinusoidal asymmetric current of industrial frequency (50 Hz). The asymmetry coefficient $\beta = 1.63$. All experiments were carried out at a temperature of 60 °C. The electrolysis time was 60 min.

A DRON-8N X-ray diffractometer equipped with a parabolic mirror on the primary beam and a Mythen 2R 1D position-sensitive detector was used to determine the phase composition of the developed Co-Mn spinel-based coatings.

The study of the morphology and elemental composition of the coatings was carried out without additional sample preparation using a SUPRA 50 scanning electron microscope.

To apply protective coatings based on Co-Mn spinel on Crofer 22 APU stainless steel, it is necessary to ensure good adhesion and roughness of the substrate surface. As the main criterion for choosing the abrasive material used at the stage of preliminary surface preparation, we chose an abrasive of a composition that does not contain aluminum or contains a minimal amount, since even a small content of aluminum compounds in the coating leads to a number of negative properties.

To study the effect of abrasive processing on the morphology and elemental composition of the surface of Crofer 22 APU steel, the following abrasives were selected: quartz sand with a large-sized (0.4-0.8 mm), granulated cooper slag with a grain size of 0.1-0.8 mm, as well as corundum with a grain size of 0.125-0.63 mm.

Thus, based on the research carried out, in the future, at the surface preparation stage, cooper slag was used as an abrasive, because it contains the least amount of aluminum.

As can be seen from fig. 1, the morphology of the surface of the coatings has a mosaic structure.

The main elements of the coating, according to X-ray microanalysis data, are cobalt, manganese, oxygen, and also in small quantities iron, chromium and carbon, which can be explained by the contribution of the substrate.

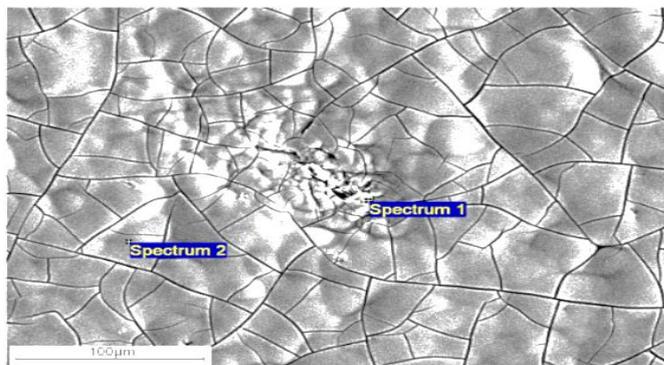


Fig. 1. SEM-image of the surface of Co-Mn spinel coating

Table 1 - X-ray microanalysis data

Element	Weight %	Atomic %
C	1,25	2,95
O	37,18	65,99
Cr	0,88	0,48
Mn	34,24	17,70
Fe	5,04	2,56
Co	21,41	10,32

It is clear from the X-ray diffraction pattern that the coating substance is in an X-ray amorphous state. The degree of crystallinity was 59 % (41 % of the amorphous phase); a rise in the background in the angle range of 35-42° may indicate the presence of an X-ray amorphous phase. An overlay of the cobalt-manganese spinel (Co_2MnO_4) card shows the correspondence of the angular position of the main phase lines and the background rise described above.

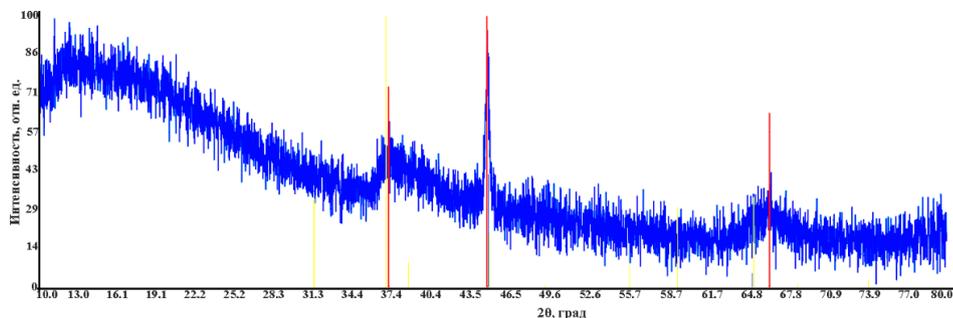


Fig. 2. X-ray diffraction pattern of Co-Mn spinel coating

Thus, a technology for producing coatings based on Co-Mn spinel for SOFC interconnect application using the non-stationary electrolysis method was developed and optimized.

The research was carried out with the help of a grant Russian Science Foundation № 24-23-00113, <https://rscf.ru/en/project/24-23-00113/>.

References

1. Peng J., Huang J., Wu X. L. [et al.]. Solid oxide fuel cell (SOFC) performance evaluation, fault diagnosis and health control // *Journal of Power Sources*. 2021. V. 505. P. 230058.
2. Raza T., Yang J., Wang R. [et al.]. Recent advance in physical description and material development for single component SOFC // *Chemical Engineering Journal*. 2022. V. 444. P. 136533.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

А.В. Штанкевич

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Предложено и исследовано конструктивное решение в форме комбинации трансформируемого объемно-стержневого каркаса из легкого алюминиевого сплава.

Ключевые слова: пространственные стержневые конструкции, сооружения социально-массового и специального назначения

Современные выставочные залы, торгово-развлекательные центры и другие места проведения досуга, предназначенные для развлечения посетителей парков и площадок, представляют собой инженерные сооружения в большинстве случаев с большепролетными конструкциями, в которых эстетический эффект достигается, в том числе, за счет создания оригинальных конструкций покрытия [1-3].

В настоящей работе предложено и исследовано конструктивное решение в форме комбинации трансформируемого объемно-стержневого каркаса из легкого алюминиевого сплава, которое позволяет решить проблему строительства сооружений социально-массового и специального назначения в труднодоступных регионах Российской Федерации.

В современном мире все чаще используются пространственные стержневые конструкции для покрытий и перекрытий большепролетных зданий (рис. 1), без использования дополнительных опор, например, для спортивных стадионов, сборочных цехов и выставочных залов [4-7].



Рис. 1. Покрытие летнего амфитеатра в Витебске (Белоруссия)

Используется ранее запатентованный шарнирный узел пространственной стержневой конструкции регулярной структуры, который был собран автором в «КОМПАС-3D» [8]. На рис. 2 показана разработанная 3D-модель шарнирного узла.

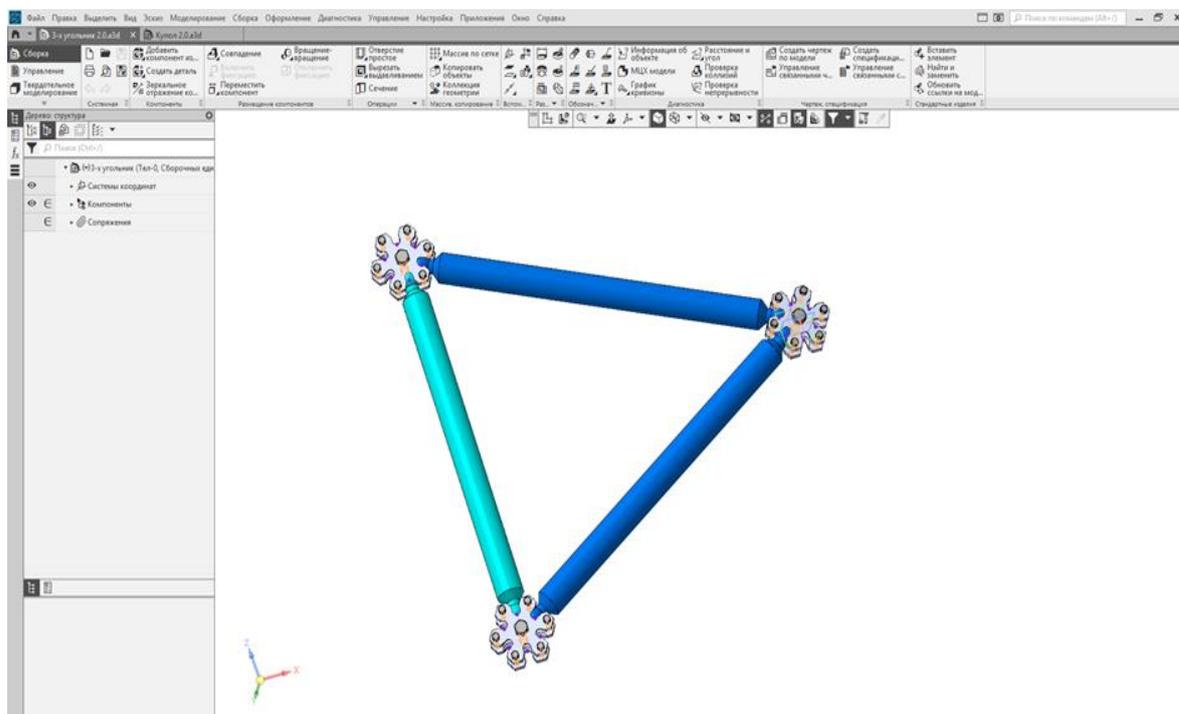


Рис. 2. Покрытие летнего амфитеатра в Витебске (Белоруссия)

В результате последующей поэтапной сборки элементов здания была получена модель каркаса (рис. 3).

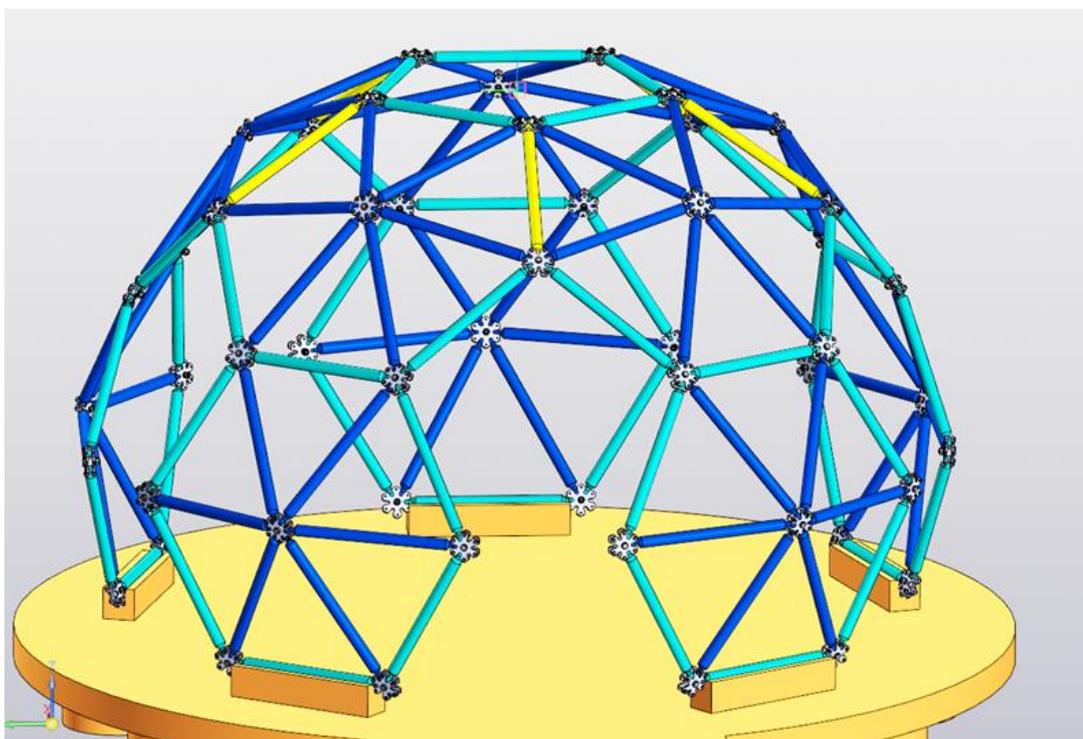


Рис. 3. Информационная модель купола



Рис. 4. Купол из полимера

Для защиты экологии и быстрой переработки при утилизации здания, стальные элементы каркаса можно заменить на полимер с достаточной несущей способностью. В результате можно получить легкий модульный объект (рис. 4).

Научный консультант – к.т.н., доцент Н.Г. Царитова.

Список источников

1. Трущев А.Г. Пространственные металлические конструкции. М.: Стройиздат, 1983. 215 с.
2. Chilton J. Space Grid Structures // J. Chilton. Boston: Architectural Press, 2000. 180 p.
3. Gasbarria P., Montia R., Sabatinib M. Very large space structures: Nonlinear control and robustness to structural uncertainties // ActaAstronautica. 2014. Vol. 93. Pp. 252–265.
4. Lan T.T. Space Frame Structures. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999. 129 p.
5. Бузало Н.А., Версилов С.О., Платонова И.Д., Царитова Н.Г. Энергоэффективные конструкции зданий на основе сетчатых оболочек // Строительство и архитектура. 2020. Т. 8. № 1. С. 5–10. DOI 10.29039/2308-0191-2020-8-1-5-10.
6. Ключев С.В., Ключев А.В. Оптимальное проектирование стержневой пространственной конструкции // Изв. Казанского гос. арх.-строи. ун-та. 2007. № 1(7). С. 17–22.
7. Травуш В.И., Антошкин В.Д., Ерофеев В.Т., Гудожников С.С. Современные конструктивно-технологические решения сферических оболочек // Строительство и реконструкция. 2012. № 6(44). С. 45–55.
8. Кудрявцев Е.М. КОМПАС-3D. Проектирование в архитектуре и строительстве. М.: ДМК Пресс, 2010. 544 с.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ МЕТОДА

Г.М. Скибин, А.А. Заморев

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассмотрены теоретические аспекты альтернативного метода определения максимальной плотности сухого грунта.

Ключевые слова: грунт, максимальная плотность грунта, альтернативный метод

Основанием любого строения, будь то многоэтажное здание или небольших размеров производственное сооружение, как правило, является ограниченный (условно) по глубине и простираию грунтовой массив.

Этот грунтовой массив является предметом изучения инженеров строительного направления начиная с инженерных изысканий на потенциальной площадке строительства и заканчивая контролем качества исполнения мероприятий, предусмотренных проектными организациями.

Одним из таких мероприятий является уплотнение грунтовых массивов. Целью уплотнения грунта является улучшение его физико-механических характеристик.

На территории РФ методика и последовательность контроля качества уплотнения грунтовых массивов регламентируется нормативной документацией [1–5].

Основным параметром оценки качества уплотнения грунтовых массивов является коэффициент уплотнения грунта [1]:

$$K_y = \frac{\rho_d}{\rho_{d\max}},$$

где ρ_d – плотность сухого грунта; $\rho_{d\max}$ – максимальная плотность сухого грунта.

Традиционным методом определения максимальной плотности и соответствующей ей оптимальной влажности является метод стандартного уплотнения с использованием прибора СоюздорНИИ (ПСУ).

Сущность метода состоит в определении оптимальной влажности грунта w_{opt} , при которой достигается наибольшее его уплотнение $\rho_{d\max}$.

Прибором СоюздорНИИ производится серия отдельных испытаний по послойному (в три слоя) уплотнению грунта с последовательным увеличением его влажности w при постоянном количестве ударов (40 ударов на каждый из трех слоев) грузом, массой 2,5 кг, свободно падающим с высоты 300 мм [5].

Однако, основываясь на практической деятельности, автором данной статьи установлена закономерность, при которой, зачастую, фактические значения плотности сухого грунта, полученные непосредственно на строительной площадке, получаются выше, чем значения максимальной плотности, определенной согласно [5].

Данный факт указывает на необходимость разработки методики определения максимальной плотности грунта, объективно отражающей характеристики исследуемых грунтов.

В связи с этим, автором данной статьи предложен альтернативный метод определения максимальной плотности сухого грунта, описанный ниже.

Сущность метода заключается в приложении к исследуемому образцу грунта статической нагрузки на приборе компрессионного сжатия с фиксацией физических характеристик грунта (плотность, влажность) до, в процессе и после испытаний.

В качестве образцов предусмотрены:

- образец глинистого грунта нарушенной структуры, предварительно высушенный до постоянной массы, перетертый и просеянный через сито диаметром ячейки 1 мм;

- образец глинистого грунта, предварительно перетертый и просеянный через сито диаметром 1 мм, с последующим полным водонасыщением;

- образец глинистого грунта ненарушенной структуры, высушенный до постоянной массы;

- образец глинистого грунта ненарушенной структуры, при полном водонасыщении.

Все контрольные образцы предусмотрено изготовить из одного грунта (с одинаковыми физико-механическими характеристиками).

Испытания предусмотрено провести на автоматизированной установке компрессионного сжатия, производства фирмы НПП Геотек на кафедре ПГСГиФ ЮРГПУ (НПИ). Настоящая установка оснащена вычислительной системой АСИС, что позволит фиксировать и сохранять в памяти прибора значения вертикальных перемещений вследствие приложения статической нагрузки в течение времени.

По результатам проведенных испытаний будут проанализированы графики зависимости коэффициента пористости от прилагаемой статической нагрузки, определена плотность и влажность грунта на каждой ступени статической нагрузки.

По результатам анализа указанных испытаний будет подобрано:

1. Оптимальная форма исследуемого образца.

2. Значение максимальной (в рамках испытаний) статической нагрузки.

3. Шаг статической нагрузки и время на стабилизацию каждой ступени.

По результатам подбора планируется проведение серии испытаний с привязкой к существующему объекту строительства. В рамках опробования следует уточнить:

1. Разницу в значениях максимальной плотности сухого грунта, определенной альтернативным (предложен в данной статье) и традиционным методом по [5].

2. Сравнения значений плотности сухого грунта, полученных из уплотненного грунтового массива со значениями максимальной плотности сухого грунта, полученными альтернативным (предложен в данной статье) и традиционным методом по [5].

3. Сравнение временных затрат на проведение испытаний по определению максимальной плотности сухого грунта, полученными альтернативным (предложен в данной статье) и традиционным методом по [5].

Список источников

1. СП 45.13330.2017 «Земляные сооружения, основания и фундаменты»;
2. ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация»;
3. ГОСТ 12071-2014 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов»;
4. ГОСТ 5180-2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик»;
5. ГОСТ 22733-2016 «Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности».

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

СОВРЕМЕННОЕ ЦИФРОВОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 656.132

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ И ПЛАНИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

А.Д. Ефимов, А.О. Алибагандов, Ю.И. Савченко

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассматривается актуальная задача повышения экологической безопасности при организации и планировании автомобильных перевозок.

Ключевые слова: дорожно-транспортные происшествия, интеллектуальные транспортные системы, улично-дорожная сеть, чрезвычайные ситуации, аварийно-опасные ситуации

Стихийные бедствия, промышленные аварии и катастрофы на транспорте при осуществлении процесса перевозок, имеют опасные для жизни и здоровья значительных групп населения последствия. При опрокидывании и возгорании автомобиля с горючими веществами создаются значительные отравляющие очаги на большой территории. Все указанные явления принято объединять понятием чрезвычайной ситуации (ЧС).

Применительно к транспорту, транспортные аварии (катастрофы) относятся к ЧС техногенного характера (аварии и катастрофы). Сами по себе технологические процессы в транспортном комплексе относятся к экологически опасным. Причем эта опасность возрастает в геометрической прогрессии при переходе к эксплуатации в аварийном режиме. Многие водители совершают серьезную ошибку при возникновении аварийно-опасных ситуаций, обусловленную стремлением самим ликвидировать возможные негативные последствия дорожно-транспортных происшествий. Поэтому к управлению автомобилями, перевозящими опасные и горючие вещества, опускают только после прохождения специального курса повышения квалификации и переподготовки – ДОПОГ.

Также особое значение в предотвращении подобных катастроф играет разработка комплекса эффективных мероприятий, основанных на глубоком изучении статистических данных о ДТП. В настоящее время нет единой методики, позволяющей оценивать безопасность движения по регулярным маршрутам движения коммерческих автомобилей, перевозящих опасные грузы.

Кроме того, большую роль играет и техническое состояние самих эксплуатируемых транспортных средств. Многие предприятия стремятся максимально выработать ресурс своих автомобилей перед их заменой. Это не может не сказаться на безопасности движения.

Не меньшую роль играет и состояние дорожных условий в местах концентрации ДТП. Зачастую кривые с необеспеченным радиусом становятся местами тяготения происшествий с участием грузовых автомобилей. Особенно отчетливо это проявляется на участках с высокой ветровой нагрузкой и отсутствием виражей. Неправильная организация дорожного движения в столь опасных участках является очень опасной. Если водителя не предупредить заранее о необходимости строгого соблюдения скоростного режима, то все это может привести к фатальным последствиям. Поэтому для повышения экологической безопасности при планировании и организации автомобильных перевозок перспективным является применение систем маршрутной навигации.

Существующие в настоящее время системы автомобильной маршрутной навигации можно разделить на две большие группы: инерциальные и спутниковые [1-3].

К инерциальным системам относятся те, принцип работы которых основан на преимущественном получении информации от самих пользователей навигационной системы. Данный вид маршрутных навигационных систем на современном этапе развития считается не перспективным и, по сути, в новых продуктах данная технология уже не применяется либо применяется как элемент получения дополнительной информации.

Спутниковые системы считаются наиболее перспективным направлением развития не только в маршрутной навигации, но и в интеграции на улично-дорожной сети искусственного интеллекта по управлению транспортными потоками. Однако, как показала практика последних лет, при возникновении военной, техногенной или криминальной угрозы в регионе происходит существенное нарушение в режиме работы спутниковой навигации для гражданского назначения. Поскольку наибольший эффект спутниковые системы дают при решении задач оперативного управления транспортной системой [4], получение информации с определенными задержками просто критически недопустимо. Этот аспект также необходимо учитывать при проектировании систем контроля и управления ТП в целом, и отдельными автомобилями, в частности.

Оптимизацию процессов диспетчерского управления в маршрутных навигационных системах необходимо осуществлять внедрением принципов комбинированного построения функциональных схем. Такой подход позволит:

- 1) ликвидировать коммуникационный разрыв между объектом управленческого контроля и субъектом воздействия. Соответственно, в период контроля и управления не будет возникать коммуникационная пауза, связанная с отсутствием необходимых исходных данных, либо результатами алгоритмических расчетов. На практике установлено, что для эффективного управления транспортными процессами интервалы прихода сигналов не должны превышать 15 секунд [5];

2) осуществить интеграцию навигационных и ИТС в единую цифровую платформу управления дорожно-транспортным комплексом. Большой массив данных по контролю за параметрами ТП, состоянию дорожных условий, работе объектов транспортной инфраструктуры и технических средств организации движения будет собран и обработан в реальном режиме времени при минимальном использовании спутниковой связи. Также в рамках существующих интеллектуальных систем уже эффективно работают алгоритмы прогнозирования развития ДТС, которые обладают достаточной точностью и достоверностью.

Как показывает практика применения данных систем, на УДС на 35 % повышается пропускная способность, на 34 % снижается аварийность и на 28 % уменьшается количество вредных выбросов автомобилей [3,5]. В современных интеллектуальных системах достаточно эффективно применяется комбинация автономного и динамического управления маршрутом, что позволяет избегать возникновения коммуникационных разрывов.

Взаимная интеграция маршрутных и ИТС в перспективе позволит создать цифровую платформу, в которой будет осуществляться эффективная работа муниципальных и транспортно-логистических организаций, органов государственной власти и служб, которые ответственны за организацию и контроль перевозок. Это позволит в автоматическом режиме решать целый спектр задач по контролю ТП, подготовки отчетных материалов, учету расхода материальных ценностей и т.д. [5];

3) использовать принцип «обратной связи» от пользователей маршрутных навигационных систем. Пользователями таких систем могут быть не только водители, транспортно-логистические компании, перевозчики и участники дорожного движения. Большую практическую значимость при функционировании систем маршрутной навигации будет иметь массив данных о планируемых ограничениях, ремонтных работах, аварийно-опасных участках и сложном продольном и поперечном профиле на элементах УДС. Наполнением этого цифрового массива должны заниматься организации, осуществляющие эксплуатацию, а также надзор и контроль за движением на конкретном участке дорог. В свою очередь и эти службы будут получать в оперативном режиме информацию об изменении параметров ТП или транспортно-эксплуатационных характеристик участков УДС от водителей, диспетчеров и других пользователей систем. Другими словами, это позволит реализовать принцип предоставления мультимодальной информации от всех участников транспортного процесса. Причем данная информация будет отвечать на основные запросы к технологическому процессу перевозки: безопасность, надежность, качество, комфорт и стоимость.

Таким образом, использование современных интеллектуальных систем маршрутной навигации при планировании и организации автомобильных перевозок позволит значительно повысить показатели экологической безопасности как за счет снижения вредных выбросов транспортных средств, так и предотвращения ДТП.

Список источников

1. Rapid assessment of road safety policy change: relaxation of the national speed enforcement law in russia leads to large increases in the prevalence of speeding / K. Bhalla, N. Paichadze, S. Gupta, D. Bishai, A.A. Hyder, V. E. Kliavin, E. Gritsenko // Injury Prevention. 2015. Т. 21. No 1. Pp. 53–56.
2. Zagidullin R.R. Model of Road Traffic Management in the City during Major Sporting Events (Модель организации дорожного движения транспортных потоков в городе при проведении крупных спортивных мероприятий) // Transportation Research Procedia. - 2017. No 2. Pp. 709–716.
3. Marusin A. Evaluation of Functional Efficiency of Automated Traffic Enforcement Systems / Muklitar Kcрimov, Ravil Safiullin, Alexey Marusin, Alexandra Marusin // Organization and Traffic Safety Management in Large Cities SPbOTSIC-2016: 12th International Conference, St. Petersburg, Russia, 28-30 September 2016. С. 288–294.
4. Saraykin, A.I., Khasanov R.I. The integrated simulation model of a promising active safety system for the executive class vehicles // Theoretical & Applied Science. 2017. No 2. Pp. 101–105.
5. Сарайкин Л.И., Хасанов Р.И. ADAS в задаче позиционирования автотранспортных средств в условиях дефицита визуальной информации // Международный технико-экономический журнал. 2016. No 3. С. 36–42.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ В СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Д.В. Безуглов, А.П. Байдюк, Р.С. Филатов

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Исследованы факторы безопасности и производительности в химии, выявлены проблемы и предложены рекомендации.

Ключевые слова: АСУТП, промышленная безопасность, производительность, диаграмма Парето, специальная техническая химия

Введение. Производственные показатели безопасности и безаварийности являются важными показателями эффективности и качества производственных процессов специальной технической химии [1]. Обеспечение этих показателей на рабочем месте является приоритетной задачей для любой компании, занимающейся производством химических веществ. В данной статье проведено исследование факторов, которые влияют на производственные показатели безопасности и безаварийности в производственных процессах специальной технической химии. Большое количество производств специальной технической химии на данный момент модернизируется путем замены системы управления на современные АСУТП или уже используют в качестве управления более совершенные средства автоматизации [2, 3]. Это подразумевает использование современных программируемых логических контроллеров (ПЛК), автоматизированных рабочих мест (АРМ) на базе персональных компьютеров и серверов [1].

Факторы влияющие на производственные показатели. Был проведён анализ факторов, влияющих на производственные показатели безопасности и безаварийности, который показал, что их можно определить как укрупнённые группы: 1) обучение и подготовка персонала; 2) качество оборудования и материалов; 3) организация производственного процесса; информационная безопасность.

Данные группы факторов являются важными для анализа на любом производстве [4]. Группа по информационной безопасности является относительно новой в сфере промышленности и стала актуальна с широким распространением АСУТП [5].

Обучение и подготовка персонала являются одними из ключевых факторов, которые влияют на производственные показатели безопасности и безаварийности. Персонал должен иметь хорошее понимание производственных процессов, правил и процедур безопасности, а также умение правильно использовать средства индивидуальной защиты и технические устройства. Для повышения эффективности обучения персонала необходимо использовать электронные обучающие программы и симуляторы [6], тренажёры на

базе виртуальной реальности [7], где обслуживающим персоналом обрабатываются регламентируемые действия без необходимости использовать оборудование и персонал на реальном производстве [8].

Качество оборудования и материалов является важным фактором [1,9], который влияет на безопасность и безаварийность производственных процессов. Кроме того, необходимо использовать высококачественные материалы, которые соответствуют стандартам качества и безопасности. На данном этапе исследования к этой группе факторов можно отнести созданные АСУТП для спецхимии с точки зрения контроллерного оборудования (уровень ПЛК), и разработанного прикладного ПО для ПЛК, оборудования для человеко-машинного интерфейса (компьютерный уровень), и разработанного для них прикладного ПО. Например, система управления технологическим процессом синхронного дозирования, смешения и заполнения [10].

Организация производственного процесса может быть связана с безопасностью и безаварийностью производственных процессов следующими путями [1]: 1) правильная организация процесса работы персонала может снизить риск ошибок и несчастных случаев; 2) правильно организованное рабочее место может повысить эффективность и безопасность работы; наличие процедур и инструкций по безопасности может улучшить безопасность производственных процессов; 4) Регулярное техническое обслуживание и замена устаревшего оборудования путем снижения времени до первого отказа также может повысить безопасность производственных процессов, определяемого как

$$t_{рто} < t_{ссв} + t_p,$$

где $t_{рто}$ – время регулярного технического обслуживания; $t_{ссв}$ – среднее статистическое время до возникновения отказа; t_p – резервное время [1].

Информационная безопасность влияет на производственные показатели безопасности в химической промышленности. Компрометация данных может негативно сказаться на безопасности процессов, персонала и окружающей среды. Для снижения рисков предлагается разработка и внедрение политики информационной безопасности и обучение персонала [11].

Подготовка данных для построения диаграммы Парето. Каждая из вышеописанных четырёх групп факторов, как правило, содержит конкретные нарушения. На основе анализа АСУТП в отрасли изготовления энергонасыщенных материалов была собрана сводная статистика и составлена табл. 1. Определённые нарушения, в свою очередь, для упрощения и первичной обработки сгруппированы в колонку факторы. В данной таблице факторы ранжированы в порядке убывания количества встречающихся нарушений за условный отрезок времени. Факторы условно пронумерованы в колонке «№ п/п» и посчитана процентная составляющая от всех нарушений как

$$p_n = \frac{v_n}{\sum_{i=1}^{13} v_i} \cdot 100 \%,$$

где p_n – процент нарушений за период в определённой группе факторов; v_n и v_i – количество нарушений за период в определённой группе факторов; n и i – той группы факторов из табл. 1.

Таблица 1 – Подготовленные данные для построения диаграммы Парето

№	Группа факторов	Факторы	Кол-во нарушений за период	Процент нарушений за период	Кумулятивный процент (процентная мера фактора)
1	Организация производственного процесса	Допуск к работам сотрудников, которые не владеют теоретическими и практическими знаниями работы	124	31.16	31.16
2	Обучение и подготовка персонала	Недостаточная компетентность в теоретических знаниях	70	17.59	48.74
3	Обучение и подготовка персонала	Недостаточная компетентность в практических навыках работы	54	13.57	62.31
4	Качество оборудования и материалов	Неверно собранное оборудование	45	11.31	73.62
5	Качество оборудования и материалов	Некачественный инструмент	34	8.54	82.16
6	Организация производственного процесса	Отсутствие технического контроля подготовки оборудования на всех этапах	23	5.78	87.94
7	Организация производственного процесса	Отсутствие специальной одежды	22	5.53	93.47
8	Информационная безопасность	Получение доступа к управлению ТП лицами без соответствующего допуска	6	1.51	94.97
9	Информационная безопасность	Вывод из строя вычислительной сети	6	1.51	96.48
10	Информационная безопасность	Вывод из строя ОС АРМ оператора	6	1.51	97.99
11	Информационная безопасность	Вывод из строя управляющей программы SCADA системы	5	1.26	99.25
12	Качество оборудования и материалов	Ошибки в конструкции оборудования, которые удалось выявить только во время несчастного случая	2	0.50	99.75
13	Информационная безопасность	Вывод из строя программы ПЛК	1	0.25	100.00

Процентная составляющая нарушений представлена в колонке «Процент нарушений за период». В колонке «Кумулятивный процент» для каждой последующей строки представлена сумма процента нарушений за период в соответствии с фактором строки со значением кумулятивного процента для предыдущего фактора. В итоге для последнего фактора кумулятивный процент должен быть равен 100 %.

Представим посчитанные данные в виде диаграммы Парето. Построенная по ней диаграмма Парето (рис. 1), позволяет сфокусироваться на наиболее важных факторах, чтобы сэкономить время и ресурсы при решении проблем, помочь определить, какие изменения и улучшения будут наиболее эффективными для устранения проблем и повышения производительности.



Рис. 1. Диаграмма Парето для факторов, влияющих на производственные показатели безопасности и безаварийности в производственных процессах специальной технической химии

Применяя правила бережливого производства [1] совместно с принципом Парето [12], уже можно выделить п. 1 из табл. 1, как основной, над которым следует работать для снижения количества нарушений на производстве, так как п. 1 равен 31,16 % всех случаев, что составляет более 20 % от всех имеющихся. С данными нарушениями необходимо работать для обеспечения процесса непрерывного улучшения процессов (первый принцип Деминга) [13] на производстве и уменьшения факторов, влияющих на производственные показатели.

Результирующая диаграмма для нашей выборки факторов, которые представлены в табл. 1 построена на рис. 1.

Для проработки и снижения действия факторов, влияющих на производственные показатели, из таблицы 1 уже широко используются современные АСУТП, что существенно снижает количество нарушений. Влияние факторов качества оборудования и материалов несущественно в рамках данной выборки. Современные АСУТП позволили автоматизировать процесс сбора информации для дальнейшего анализа. Для этих целей используются центральные диспетчерские, куда собираются все необходимые данные [14]. На базе современных АСУТП стало возможным создание в более короткие сроки тренажёрных комплексов для операторов АСУТП [6, 7].

Вывод. Проведённый анализ и диаграмма Парето позволили сосредоточить внимание на наиболее важных факторах. Таким фактором является в данном случае один - организационный фактор, который составляет 31%, что больше 20% нарушений. В дальнейшем это предполагает изменения и улучшения, относящиеся к выделяемому укрупненному фактору, которые позволят наиболее эффективно устранять проблемы и повышать производительность, безопасность труда, качество продукции и снижение брака и, как следствие финансовых потерь. Он требует дальнейшего подробного исследования.

Список источников

1. Голинкевич Т.А. Прикладная теория надежности. М.: Высш. школа. 1977. 160 с.
2. Обеспечение промышленной и экологической безопасности на взрывоопасных производствах оборонно-промышленного комплекса. Промбезопасность-2014: сб. докл. Красноармейск: ФКП «НИИ «Геодезия», 2014.
3. Тюрин О.Г., Петренко А.Н., Безуглов Д.В. Использование возможностей современных систем управления технологическими процессами для повышения безопасности эксплуатации опасных производств. Обеспечение промышленной и экологической безопасности на взрывоопасных производствах оборонно-промышленного комплекса. Промбезопасность-2014: сб. докл. Красноармейск: ФКП «НИИ «Геодезия», 2014.
4. Афанасьева Т.А., Блиничев В.Н. Надежность химико-технологических производств: монография; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново: 2007. 199 с.
5. Методический документ. Методика оценки угроз безопасности информации, утверждён ФСТЭК России 5 февраля 2021 г. 83 с.
6. Тюрин О.Г. Безуглов Д.В., Хохловский В.Н. Компьютерный тренажер оператора АСУТП производства изделий из высокоэнергетических материалов. Пром-Инжиниринг 2017: тр. III междунар. науч.-техн. конф., г. С.Петербург-Челябинск-Новочеркасск-Владивосток, 16-19 мая 2017 г. [Электронный ресурс] / Юж.-Урал. гос. ун-т (нац. исслед. ун-т). Челябинск: ЮУрГУ, 2017. С. 351–357.
7. Лебедев И.С., Безуглов Д.В., Тюрин О.Г. Программная платформа для создания компьютерного тренажерного комплекса АСУТП – Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022613374, Заявка № 2022612614; заявл. 28.02.2022; опубл. 14.03.2022.
8. Лебедев И.С., Безуглов Д.В., Тюрин О.Г., Завьялова Н.Б., Корнелюк О.А. Программная платформа для обучения персонала опасных производств на базе виртуальной реальности. Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2023610632; заявл. 09.01.2023; опубл. 23.01.2023.
9. Афанасьева Т.А., Блиничев В.Н. Надежность химико-технологических производств: монография; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2007. 199 с.
10. Тюрин О.Г. Куликов А.В. Толмачева А.Н. Чеботарь А.В. Безуглов Д.В. Система управления технологическим процессом синхронного дозирования, смешения и заполнения. Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015614388 / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. № 2015611012; заявл. 24.02.2015; опубл. 20.05.2015
11. Методический документ. Методика оценки угроз безопасности информации, утверждён ФСТЭК России 5 февраля 2021 г. 83 с.
12. Кох Ричардх Принцип 80/20 Попурри, 2002. 352 с.
13. Деминг У. Эдвард Выход из кризиса. Новая парадигма управления людьми системами и процессами. Альпина Паблшер, 2022. 417 с.
14. Тюрин О.Г., Куликов А.В., Шабалин В.М., Безуглов Д.В. Система управления промышленной безопасностью на производствах боеприпасов и спецхимии // Автоматизация в промышленности. 2018. № 8.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

О КОНЦЕПЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА ВЫРАЩИВАНИЯ НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ

И.Е. Глазырин, И.В. Романенко

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Описана концепция точного животноводства, приведена формализованная модель животноводческого хозяйства, концепция информационной системы для мониторинга выращивания.

Ключевые слова: точное животноводство, информационная система, моделирование, формализованная модель, мониторинг

Появление новых технологий, таких как электронные идентификационные метки, датчики и машинное обучение, на рубеже двадцатого и двадцать первого веков дало толчок к переходу от интенсивного животноводства к точному животноводству. Точное животноводство – это подход к разведению животных, который использует технологии и данные для улучшения управления фермой [1]. Концептуальная схема точного животноводства приведена на рис. 1.

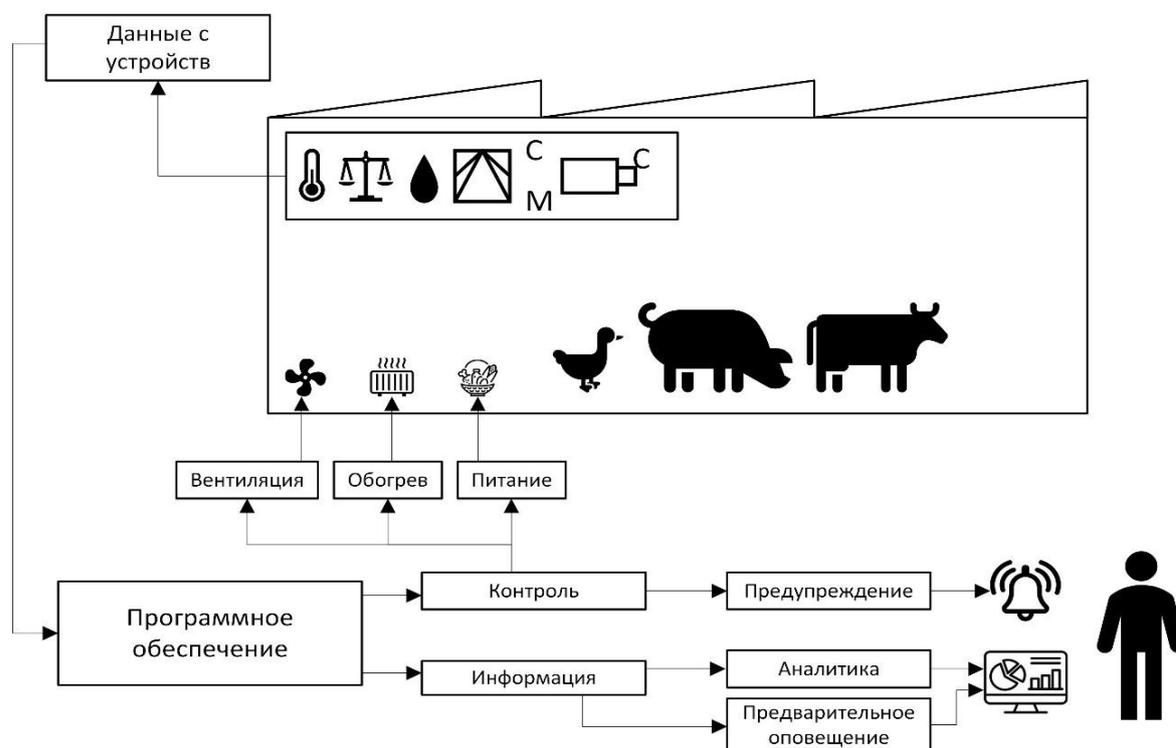


Рис. 1. Концептуальная схема точного животноводства

Согласно данной схеме, на ферме используются устройства (микрофоны, камеры, датчики) для сбора данных о животных и осуществляется их непрерывный анализ для получения информации для поддержки управленческих решений.

В соответствии с [2-4], животноводческое хозяйство можно представить, как иерархическую структуру, состоящую из нескольких зданий (загонов), разделенных на зоны. В каждой зоне содержатся животные и датчики, собирающие данные, которые важны для оптимизации работы фермы и обеспечения благополучия животных. Цель состоит в прогнозировании здоровья и роста животных, минимизации использования ресурсов и воздействия на окружающую среду. Представим модель животноводческого хозяйства в формализованном виде для дальнейшей алгоритмизации. Множество зданий (загонов) может быть описано следующим образом:

$$H = \{h_i\} | i = \overline{1, n},$$

где n – общее количество загонов. Свойства этого множества можно представить в виде модели

$$h_i = \langle id_i, name_i, width_i, height_i, x_i, y_i \rangle$$

где id_i – уникальный идентификатор загона; $name_i$ – наименование загона, $width_i$ – ширина данного здания на плоскости; $height_i$ – высота данного здания на плоскости; x_i – координата здания по оси O_x на плоскости; y_i – координата здания по оси O_y на плоскости.

В одном загоне может быть несколько зон, множество зон h -го загона может быть описано следующим образом:

$$Z^h = \{z_i^h\} | i = \overline{1, n^h}, n = \overline{1, m},$$

где n_h – общее количество зон в h -здании; m – общее количество зданий. Свойства этого множества можно представить в виде модели:

$$z_i = \langle id_i, h_i, name_i, type_i, width_i, height_i, x_i, y_i \rangle$$

где id_i – уникальный идентификатор зоны, h_i – уникальный идентификатор загона; $name_i$ – наименование зоны; $type_i$ – тип зоны (зона отдыха, кормления и т.д.); $width_i$ – ширина зоны на плоскости; $height_i$ – высота зоны на плоскости; x_i – координата по оси O_x на плоскости; y_i – координата по оси O_y на плоскости.

В одной зоне может располагаться как несколько устройств, так и группа животных. Множество устройств z -зоны может быть описано следующим образом:

$$DZ^z = \{dz_i^z\} | i = \overline{1, n^z}, n = \overline{1, m},$$

где n_z – общее количество устройств в z -зоне; m – общее количество зон. Каждый элемент множества может быть представлен определенным набором свойств. Данные свойства можно представить в виде модели:

$$dz_i = \langle id_i, z_i, name_i, type_i, address_i, port_i, x_i, y_i \rangle$$

где id_i – уникальный идентификатор устройства; z_i – уникальный идентификатор зоны; $name_i$ – наименование устройства; $type_i$ – тип устройства (вентиляторы, системы обогрева, системы автоматического кормления и т.д.), $address_i$ – адрес устройства; $port_i$ – порт устройства; x_i – координата по оси

O_x на плоскости; y_i – координата по оси O_y на плоскости. Данные, генерируемые датчиками в зонах, можно представить в виде набора данных временных рядов:

$$DZD = \{dzd_1, dzd_2, \dots, dzd_t\},$$

где t – количество шагов по времени. Множество групп животных z -зоны может быть описано следующим образом:

$$AGZ^z = \{agz_i^z \mid i = \overline{1, n^z}, n = \overline{1, m}\},$$

где n_z – общее количество групп животных в z -зоне; m – общее количество зон. Каждый элемент множества может быть представлен определенным набором свойств. Данные свойства можно представить в виде модели:

$$agz_i = \langle id_i, z_i, name_i, type_i, number_i \rangle$$

где id_i – уникальный идентификатор устройства; z_i – уникальный идентификатор зоны; $name_i$ – наименование устройства; $type_i$ – тип устройства (вентиляторы, системы обогрева, системы автоматического кормления и т.д.), $address_i$ – адрес устройства; $port_i$ – порт устройства; x_i – координата по оси O_x на плоскости; y_i – координата по оси O_y на плоскости.

В каждой группе животных находится некоторое количество особей. Множество особей g -группы может быть описано следующим образом:

$$A^g = \{a_i^g \mid i = \overline{1, n^g}, n = \overline{1, m}\},$$

где n_g – общее количество животных в g -группе; m – общее количество групп. Каждый элемент множества может быть представлен определенным набором свойств. Данные свойства можно представить в виде модели:

$$a_i = \langle id_i, g_i, code_i, type_i, age_i, breed_i \rangle$$

где id_i – уникальный идентификатор устройства; g_i – уникальный идентификатор группы; $code_i$ – код животного; $type_i$ – тип животного; age_i – возраст; $breed_i$ – порода. На некоторых животных могут располагаться датчики, множество датчиков на a -животного можно описать следующим образом:

$$DA^a = \{da_i^a \mid i = \overline{1, n^a}, n = \overline{1, m}\},$$

где n_a – общее количество устройств у a -животного; m – общее количество животных. Каждый элемент множества может быть представлен определенным набором свойств. Данные свойства можно представить в виде модели:

$$da_i = \langle id_i, a_i, name_i, type_i, address_i, port_i, x_i, y_i \rangle$$

где id_i – уникальный идентификатор устройства; a_i – уникальный идентификатор животного; $name_i$ – наименование устройства; $type_i$ – тип устройства; $address_i$ – адрес устройства; $port_i$ – порт устройства; x_i – координата по оси O_x на плоскости; y_i – координата по оси O_y на плоскости.

Данные, генерируемые датчиками на животных, можно представить в виде набора данных временных рядов:

$$DAD = \{dad_1, dad_2, \dots, dad_t\},$$

где t – количество шагов по времени.

На основе формализованной модели по концепцию информационной системы и пользовательского интерфейса. Разработка выполнена в рамках проектирования информационной системы, описание разработки которой дано ранее [5]. Концепция пользовательского интерфейса представлена на рис. 2.

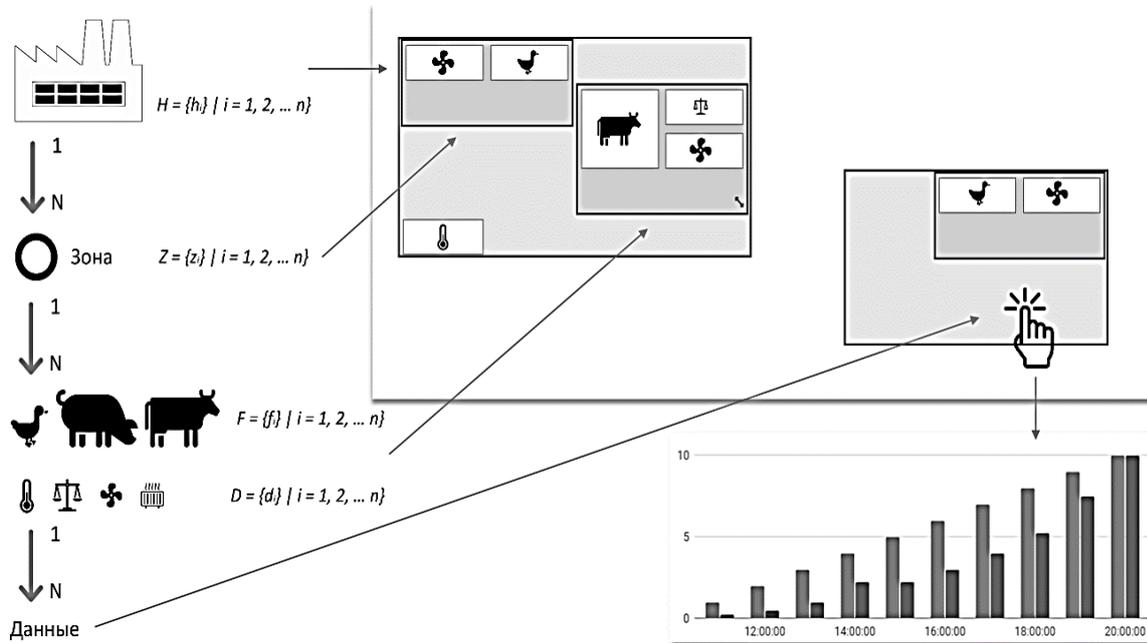


Рис. 2. Концепция пользовательского интерфейса

Согласно данной концепции, элементы животноводческого хозяйства располагаются на схеме, которая отражает физическое расположение элементов и иерархию фермы. По нажатию на элемент, пользователю будут показаны соответствующие данные, в том числе с прогнозируемыми значениями. Концепция информационной системы представлена на рис. 3.

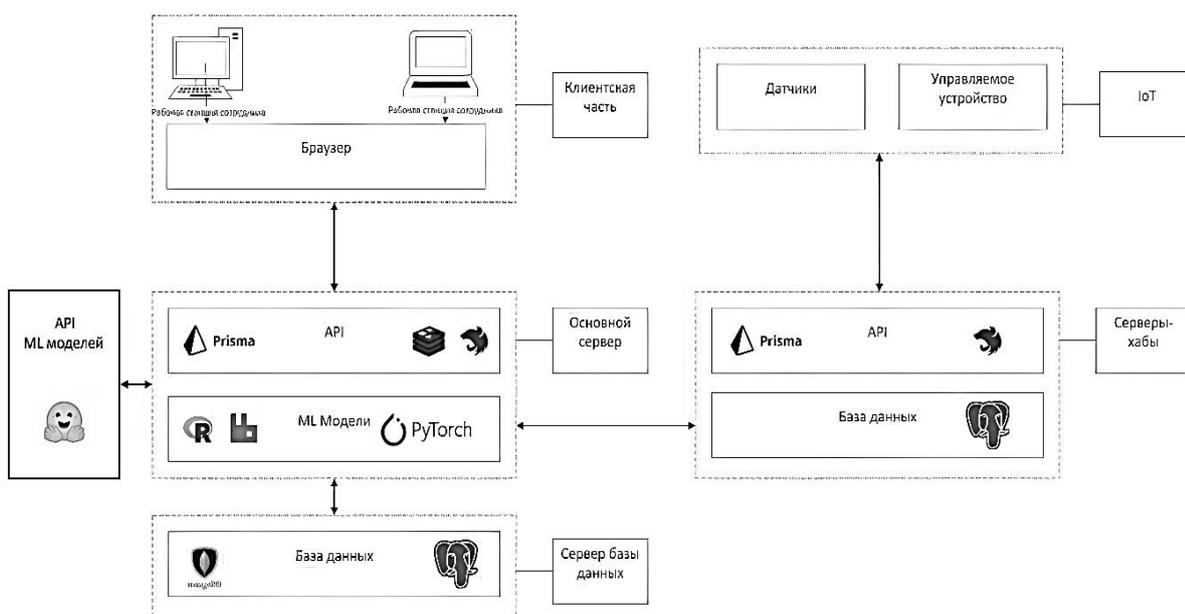


Рис. 3. Концепция информационной системы

Согласно данной схеме, сервера-хабы получают данные с датчиков, после чего отправляют их на основной сервер. После получения ответа с основного сервера, в зависимости от статуса ответа, они могут направить запрос с инструкциями на управляемые устройства. Основной сервер также предоставляет пользовательский интерфейс для сотрудников животноводческого хозяйства.

Список источников

1. Точное животноводство: электронный курс // URL: https://tice.agrocampus-ouest.fr/pluginfile.php/55014/mod_resource/content/17/co/PuB_web_Student.html (дата обращения: 30.04.2024)
2. Р 50.1.028-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. Введ. впервые с 01.07.2002. ГОССТАНДАРТ РОССИИ. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 53 с.
3. ГОСТ 18292-2012. Птица сельскохозяйственная для убоя. Технические условия. Введ. впервые с 01.07.2014. М.: Стандартинформ, 2013. 9 с.
4. ГОСТ Р 58521-2019. Птицеводство. Термины и определения. Введ. впервые с 01.07.2020. М.: Стандартинформ, 2019. 18 с.
5. Глазырин И.Е. Разработка на основе модели IDEF0 информационной системы управления птицефермы по производству мяса цыплят-бройлеров // Инновационные научные исследования: сетевой журнал. 2021. № 4-3(6). С. 204–212. URL: <https://ip-journal.ru/> (дата обращения: 14.05.2023).

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА В ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ В УСЛОВИЯХ ОТРАВЛЕНИЯ КАТАЛИЗАТОРА МОНОКСИДОМ УГЛЕРОДА

С.О. Грудинин, Н.В. Смирнова

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Целью данной работы была разработка эффективного метода борьбы с загрязнением катализатора монооксидом углерода на анодной стороне ТПТЭ с открытым катодом за счет использования вспомогательных систем, не превышающих 25% от исходной массы энергетической установки.

Ключевые слова: топливный элемент, разуглероживание, БПЛА, водород-воздушный ТЭ

Россия обозначила ключевые направления развития водородной энергетики с упором на собственные технологические компетенции и достижения к 2030 году увеличения производства низкоуглеродного водорода до 550 тыс. тонн для внутреннего потребления. В современных условиях водород находит широкое применение в альтернативной и низкоуглеродной энергетике.

Одним из значительных недостатков производства водорода является его производство не в чистом виде, а в смеси с другими газами, что требует использования дополнительного оборудования для очистки от примесей (углеводородов, угарного газа, меркаптанов).

В случае летательных аппаратов наиболее подходящими являются водородно-воздушные топливные элементы с низкотемпературными полимерными мембранами. Они характеризуются простой конструкцией и минимальным количеством дополнительных элементов, влияющих на массу и размеры конструкции энергетической установки.

Целью нашей работы была разработка эффективного метода борьбы с загрязнением катализатора на анодной стороне за счет использования вспомогательных систем, не превышающих 25 % от исходной массы энергетической установки. Наш метод включает в себя комбинацию продувки области анода, короткое замыкание цепи топливного элемента, короткое замыкание МЭБ топливного элемента, предварительный прогрев и контроль температуры топливного элемента с целью удаления СО с поверхности отравленного катализатора с эффективностью не менее 95 %. [1]

Результаты наших экспериментов были успешно воспроизведены на трех идентичных образцах в течение 600 часов экспериментов. Применение указанных комбинаций значительно сократило время восстановления активности катализатора при загрязнении уровнями 5, 10, 15, 20 % угарным газом в экспериментальном газе [2].

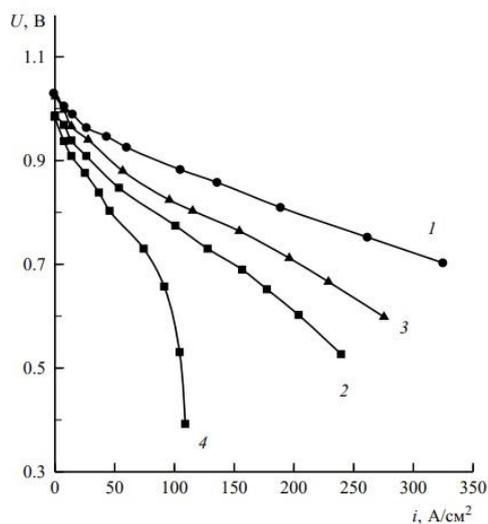


Рис. 1. ВАХ ТПТЭ при отравлении 1-5 % CO, 2-10 % CO, 3-15 % CO, 4-25 % CO

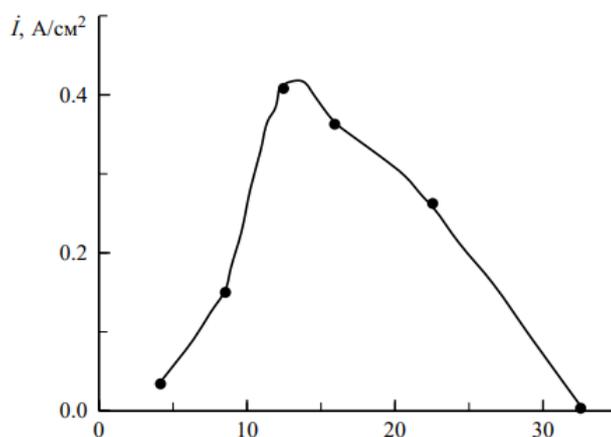


Рис. 2. Зависимость плотности тока от % содержания CO в модельном газе

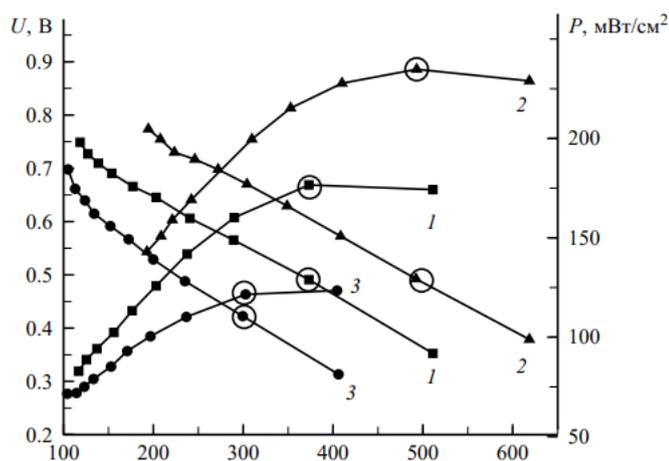


Рис. 3. ВАХ кривые и соответствующие им кривые мощности. Влияние загрязненного газа 1-5 %, 2-10 %, 3-15 % CO на периоде работы до 600 часов

Исследования в области средних плотностей тока показали, что путем настройки соответствующих условий экспериментов удалось достичь уровня в 240-250 мВт/см² в течение продолжительного периода работы на модельном газе с примесью до 15% CO. [4].

В заключение следует подчеркнуть, что конструкция прототипа топливного элемента, использованная в исследовании, до сих пор остается неоптимизированной с точки зрения омического и контактного сопротивлений компонентов топливного элемента, выбора типа и толщины газодиффузионных слоев, толщины водородной камеры и траектории потока водорода, соотношения закрытой/открытой части поверхности электродов, материалов конечных пластин. Эти вопросы будут являться объектом дальнейших исследований в области оптимизации конструкции топливного элемента [6].

Список источников

1. Успехи в области протонпроводящих полимерных электролитных мембран / Ю.А. Добровольский, П. Джаннаш, Б. Лафитт, Н.М. Беломоина, А.Л. Русанов, Д.Ю. Лихачев // Электрохимия. 2007. Т. 43, № 5. С. 515–527.
2. Возможности метода динамических разрядных кривых при исследовании топливных элементов для воздушно-водородного источника тока / А.А. Нечитайлов, Н.В. Глебова, А.А. Томасов, Н.К. Зеленина // Научное приборостроение. 2013. Т. 23, №4. С. 54–62.
3. Electrocatalytic properties of the nanostructured electrodes and membranes in hydrogen-air fuel cells / E.V. Gerasimova, E.Yu. Safronova, A.A. Volodin, A.E. Ukshe, Yu.A. Dobrovolsky, A.V. Yaroslavtsev // Catalysis Today. 2012. Vol. 193. Pp. 81–86.
4. Impedance Spectroscopy Theory, Experiment, and Applications // Ed. by E. Barsoukov, J.R. Macdonald. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2005. 595 p.
5. Дюсембекова А.А., Сохорева В.В. Нанокompозитные протонообменные мембраны для топливных элементов // Тезисы IV российской молодежной научной школы-конференции «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи». 2016. С. 259–263.
6. Добровольский Ю.А. Нанокompозитные полимерные протонообменные мембраны для топливных элементов. Мембраны и мембранные технологии: сб. науч. тр. / под ред. А.В. Ярославцева. М.: Научный мир. 2013. С. 510–534.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ ВИДЕОСКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ

А.А. Ермолов

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассматривается актуальная задача повышения качества обнаружения дефектов для задачи видеоскопического контроля стальных канатов.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, сегментация, выделение контуров, обнаружение дефектов, видеоскопический контроль

В настоящее время во многих отраслях производства и других сферах человеческой деятельности используются стальные канаты. Они применяются на таком оборудовании как различные подъемные механизмы, включающие лифты, канатные дороги, и т.д. На сегодняшний день число таких машин, эксплуатируемых на территории Российской Федерации, составляет более 1 млн единиц, и существует сильная тенденция роста их численного количества. В подобного рода машинах стальные канаты являются важнейшими функциональными элементами, а их техническое состояние – это важнейший фактор, обеспечивающий безопасность эксплуатации этих машин.

Наиболее популярным способом определения дефектов является визуальный и измерительный контроль (ВИК). В процессе его выполнения выявляются признаки наличия или отсутствия определенных типов дефектов каната и принимается решение о возможности или невозможности его дальнейшей эксплуатации. Из-за огромного количества стальных канатов, которые эксплуатируются в настоящий момент времени, а также высокой стоимостью и трудоемкостью действий направленных на выявление дефектов невозможно обойтись без автоматизации ВИК [1].

В настоящее время для решения этой задачи предложено использовать программно-аппаратный комплекс (ПАК ВИК) [1] автоматизированного контроля, основанный на применении машинного обучения, который обеспечивает обнаружение и идентификацию поверхностных дефектов.

На качество обнаружения дефектов влияют фоновые шумы, которые возникают из-за различных факторов в процессе видеосъемке канатов. В качестве таких факторов могут выступать: плохое качество освещения, лишние объекты, попавшие в кадр, видеозаписи и т.д. Для минимизирования влияния этих факторов предложено использовать свёрточную нейронную сеть, обученную для задачи сегментации объектов. В качестве объекта будет выступать канат.

Для задачи сегментации каната будем использовать свёрточную нейронную сеть *YOLOv8m-seg* [2].

Эта сеть обладает следующими характеристиками:

- размер пикселей используемых изображений 640 на 640;
- интерполированная средняя точность (mAP) [3], рассчитанное при различных пороговых значениях IoU , варьирующихся от 0,50 до 0,95 («mAP 50-95») составляет 40.8;
- скорость сегментации на графическом процессоре – 2.18 мс;
- 110.2 вычислительных операций или инструкций, выполняемых над операндами с плавающей точкой (FP) в секунду.

YOLOv8-Seg основана на принципе *YOLOACT* [4] для сегментации экземпляров. Этот принцип заключается в том, что сначала происходит извлечение признаков из изображения через магистральную сеть и сеть пирамиды функций. После этого следует разбиение на две параллельно выполняемые ветви: сегментации и обнаружения.

В первой определяются маски объектов, которые не зависят от задаваемых классов, а во второй получаются коэффициенты для этих масок, ограничивающие прямоугольники и названия классов.

Результатом сегментации является маска заданного класса, полученная с помощью линейной комбинации результатов масок прототипов и их коэффициентов, а также применения ограничивающих прямоугольник для обрезания лишнего и названия класса

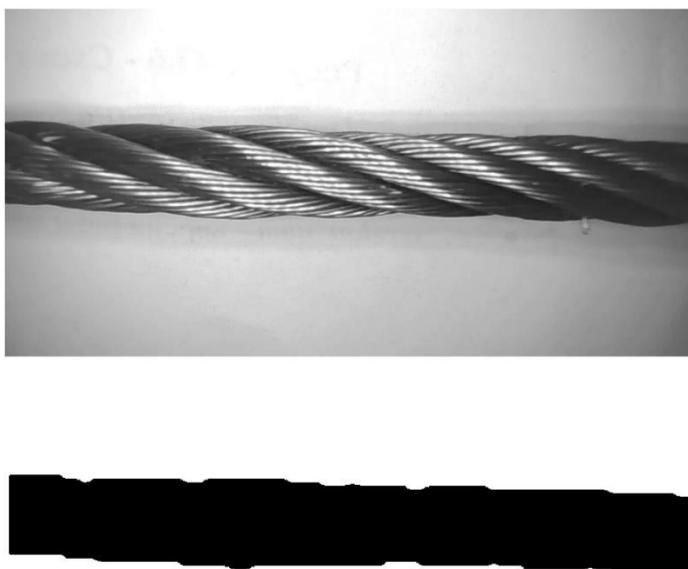


Рис. 1. Иллюстрация работы сети *YOLOv8m-seg* для выделения контуров стального каната. Верхнее изображен исходный кадр, нижнее - маска каната

Результат работы нейронной сети представляет из себя маску или бинарное изображение, где черным цветом выделен канат. На рис. 1 верхнее изображение – это исходный кадр видеоряда, нижнее результат работы алгоритма сегментации. Время обработки одного кадра видеоряда составляет около 3 мс.

Выделенные контуры данного черного объекта, являются границами каната и будут использоваться в качестве ограничительного многоугольника для отсека шумов в алгоритмах дефектоскопического анализа, применяемого в видеоскопическом контроле стальных канатов.

Таким образом, благодаря использованию данной нейронной сети, которая строит ограничивающую рамку каната, можем избавиться от ложных выделений дефектов, которые находятся за пределами данной рамки. Что значительно повышает качество работы ПАК ВИК, при этом из-за быстрой работы алгоритма, почти не оказывает влияние на время обработки видеоряда.

Список источников

1. Алгоритмизация задачи видеоскопического контроля состояния стальных канатов / Панфилов А.В., Юсупов А.Р., Гавриков М.М., Синецкий Р.М. // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 202. №1. С. 87–100.

2. Real-time Instance Segmentation / Bolya D., Zhou C., Xiao F. et. al. // University of California, Davis. Pp. 9157–9166.

3. Андриянов Н.А., Дементьев В.Е., Ташлинский А.Г. Обнаружение объектов на изображении: от критериев Байеса и Неймана-Пирсона к детекторам на базе нейронных сетей // Компьютерная оптика. 2022. Т. 46, № 1. С. 139–159. DOI 10.18287/2412-6179-CO-922. EDN IGOBDC.

4. Сорокина В.В., Абламейко С.В. Распознавание изображений товаров электронной коммерции с использованием модели внимания и нейронной сети YOLACT // Информатика. 2022. Т. 19, № 3. С. 74–85. DOI 10.37661/1816-0301-2022-19-3-74-85. EDN LFNCAL.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ МАНИПУЛЯТОРОВ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

С.Е. Ефимов, Н.А. Сухенко

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Представлены преимущества использования одного манипулятора для работы на нескольких рабочих местах. Также рассматривается использование накопителя энергии на основе литиевых батарей в качестве источников питания. Приведены преимущества использования литий-фосфатных аккумуляторов по сравнению с литий-ионными батареями.

Ключевые слова: сбалансированные манипуляторы, грузоподъемные механизмы, накопитель энергии.

Практически любое производство оказывает негативное влияние окружающую среду, однако развитие технологий и повышение уровня жизни не позволяет от него полностью отказаться. Поэтому повышение эффективности загрузки производственного оборудования, с целью снижения его количества, является разумным компромиссом. В настоящее время современная промышленность – это использование современных станков, автоматизированных сборочных линий и применение роботов, однако, по-прежнему участие человека в различных технологических процессах является обязательным. Одним из таких процессов является установка заготовки и снятие обработанной детали со станка. В случаях, когда вес заготовки превышает максимально допустимый для его установки и позиционирования вручную, применяются различные грузоподъемные средства, в частности манипуляторы. В настоящее время промышленные манипуляторы (ПМ), как один из типов подъемно-транспортных механизмов, являются основой комплексной механизации производственных процессов [1], определяющие производительность основного промышленного оборудования.

В существующих производствах наблюдается использование индивидуальных, стационарных манипуляторов под каждое рабочее место (станок), что дает ряд преимуществ, таких как:

- точный выбор грузоподъемности манипулятора под конкретную заготовку/деталь;
- выбор необходимой кинематической схемы по требуемым параметрам;
- определение необходимой мощности манипулятора.

Однако использование манипуляторов под каждое рабочее место приводит к удорожанию производства, увеличению потребляемой цехом электрической мощности, увеличивает затраты на утилизацию вышедших из строя, а складирование или переработка отработавших узлов и агрегатов манипуляторов требует решения вопросов экологической безопасности.

Также, из-за простоя за время работы с заготовкой на станке, снижается коэффициент загрузки оборудования (манипулятора), в связи с этим целесообразно рассматривать использование одного мобильного манипулятора на несколько рабочих мест. Реализация данного решения возможна в случаях использования автономного питания манипуляторов. Применение автономного питания позволит использовать один манипулятор на протяженном участке, при перемещении его по специальным направляющим, расположенным на потолке производственного помещения либо перекатывая манипулятор в случаях использования манипуляторов консольного типа.

Также, помимо использования манипуляторов в технологических процессах на производстве, возможно их применение для операций разгрузки/загрузки на складских помещениях. Современная логистика подразумевает наличие больших складских помещений (распределительных центров) с круглосуточным, непрерывным процессом загрузки, разгрузки и сортировки оборудования, товаров и материалов. Использование в таких условиях манипуляторов с автономным питанием позволило бы также сократить количество требуемых грузоподъемных устройств стационарного типа. Такое рациональное использование манипуляторов обеспечить высокий уровень энергосбережения

В качестве автономного источника питания может быть использован накопитель энергии на базе литиевых батарей. В качестве источников питания в накопителях энергии наиболее распространенными являются элементы, выполненные на следующих соединениях [2]:

- 1) литий-ионный аккумулятор:
 - тип никель-марганец-кобальт;
 - никель-кобальт-алюминий;
- 2) литий-фосфатный аккумулятор LiFePO_4 .

В накопителях энергии эффективнее использовать литий-фосфатные аккумуляторы, так как при использовании литий-фосфатных аккумуляторных батарей имеется ряд преимуществ по сравнению с литий-ионными батареями таких как:

- термоустойчивость. Литий-железо-фосфатные батареи менее зависимы от температуры окружающей среды. Например, при $-18\text{ }^\circ\text{C}$ ток прокрутки сокращается в 2 раза, тогда как это значение у литий-ионных аналогов падает в 5 раз уже при $+4\text{ }^\circ\text{C}$;
- увеличенный срок службы связан с ресурсом батарей из-за большего количества циклов, поэтому литий-фосфатные аккумуляторы служат в 2–4 раза дольше;
- более стабильный уровень энергии для потребителя в ходе разряда;
- способность выдерживать уровень перезаряда гораздо выше, чем для литий-ионных;
- полностью безопасная работа с точки зрения пожароопасности.

Основными преимуществами использования в качестве автономного источника питания манипуляторов накопителя энергии является:

- исключение необходимости создания дополнительной протяженной линии питания манипуляторов;
- снижение максимальной пиковой нагрузки (при одновременном пуске нескольких манипуляторов);
- возможность производить перемещения в случаях аварийных отключений электропитания;
- увеличение рабочей зоны манипулятора;
- оптимизация количества манипуляторов для повышения в итоге экологической безопасности при утилизации.

Список источников

1. Сбалансированные манипуляторы / Под ред. П.И. Белянина. М.: Машиностроение, 1988. 264 с.
2. Кулова Т.Л., Скундин А.М. Проблемы развития литий-ионных аккумуляторов в мире и России // Электрохимическая энергетика. 2023. № 3. С. 111–120.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ХИТОЗАНА В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА

Д.Н. Изварина, А.С. Грибанова, В.А. Гончарова

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Получены гибридные электрокатализаторы реакции выделения водорода методом нестационарного электролиза.

Ключевые слова: нестационарный электролиз, хитозан, электрокатализаторы, реакция выделения водорода

Реакция выделения водорода (РВВ) является одним из наиболее изученных и важных электрохимических процессов. Стремительное развитие водородной энергетики также привело к необходимости разработки новых материалов. Так, остро стоит проблема создания новых катализаторов РВВ. Это обусловлено тем, что используемые в настоящее время катализаторы на основе платиновых металлов, несмотря на их эффективность, достаточно дороги, характеризуются структурной нестабильностью и недостаточно быстрой кинетикой протекающих реакций. Поэтому в последнее время направление исследований в данной области смещено в сторону поиска и разработки новых неплатиновых катализаторов РВВ, что может позволить снизить себестоимость электролитического водорода [1].

Традиционно в щелочных электролизерах используют металлы или сплавы металлов с высокой площадью поверхности, при этом, несмотря на относительную дешевизну они обладают недостаточно высокой активностью. Кроме того, известно, что электрохимическая активность модифицированных электродов в РВВ выше по сравнению с электродами.

Поэтому большое значение приобретает дизайн новых каталитически активных композиционных и гибридных наноматериалов, характеризующихся сложной структурой и, как следствие, улучшенными свойствами. Объясняется это синергизмом составляющих их компонентов. К таким материалам можно отнести, например, электрокатализаторы на основе металлоорганических каркасов (МОК), характеризующиеся большим числом активных центров и, как следствие, высокой электрокаталитической активностью. Перспективным представляется синтез гибридных органо-неорганических катализаторов на основе полимеров и металлических наночастиц или их оксидов [2]. Такие материалы должны обладать высокими удельной площадью поверхности и объемом пор, низкой стоимостью, а также в целом способствовать высокой кинетике спилловера водорода. Важно отметить, что наличие органической составляющей таких гибридных материалов –

предпочтительно проводящих полимеров с аморфной фазой – способствует структурной стабильности гибридных катализаторов, а также обеспечивает более высокую гидрофильность, способствующую массопереносу и протеканию РВВ при достаточно высоких плотностях тока.

В данной работе представлены результаты по получению гибридных материалов на поверхности нержавеющей стали с использованием метода нестационарного электролиза и исследованию возможности их использования в качестве электрокатализаторов в РВВ.

Формирование гибридных материалов проводили на предварительно подготовленной поверхности стали марки *AISI 304*. В качестве противоэлектродов использовали никелевые пластины. Электрохимической ячейкой служил стеклянный термостатированный электролизер емкостью 200 мл, в который помещали рабочий электрод, противоэлектрод, магнитную мешалку и термометр.

Состав электролита был следующим, г·л⁻¹: нитрат кобальта ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) – 100; нитрат никеля ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) – 20; хлорид никеля ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) – 20; полиэпихлоргидриндиметиламин (полиЭХГДМА, $((\text{C}_5\text{H}_{16}\text{NCl})_n)$) – 4,0. Время электролиза составило 60 мин, коэффициент асимметрии β составил 1,65, рН электролита 2 – 3, температура 40 °С.

Морфологию и элементный состав гибридных материалов исследовали с помощью растрового электронного микроскопа *Quanta 200*, совмещенного с системой рентгеновского микроанализа *EDAX Genesis XVS 30*. Каталитические свойства гибридных материалов исследовали в 1М растворе NaOH. Для этого использовали потенциостат-гальваностат *SmartStat PS-50*. В качестве электрода сравнения использовали ртуть-оксидный электрод, в качестве вспомогательного электрода – никелевую пену.

Исследование морфологии поверхности гибридных материалов представлено на рис. 1.

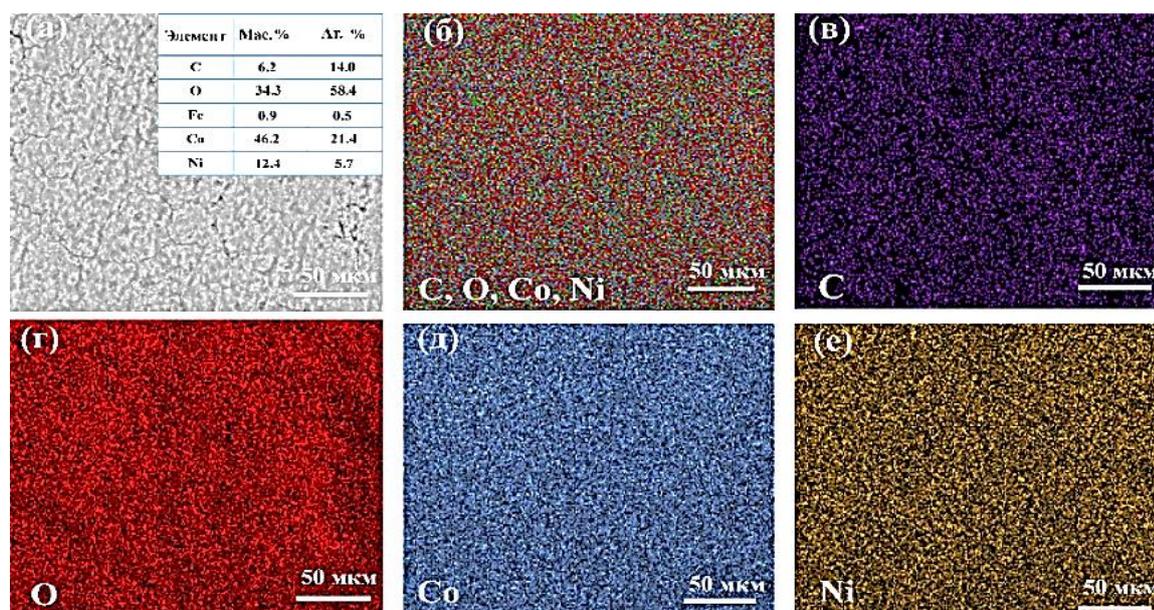


Рис. 1. Микрофотография и элементный анализ гибридного материала (а), карты распределения элементов по поверхности гибридного материала (б–е)

Данные рентгеноспектрального микроанализа (рис. 1, *a*) показали, что основными компонентами полученного на поверхности нержавеющей стали гибридного материала являются С, О, Со, Ni и следы Fe. Карты распределения элементов по поверхности (рис. 1, *b–e*) также позволяют говорить о равномерности и достаточно высокой степени однородности разработанного гибридного материала.

Исследование гибридных материалов в электрохимическом выделении водорода из щелочного электролита 1М NaOH показало, что электрод демонстрирует стабильные удовлетворительные характеристики (рис. 2). В сравнении с высокопроцентным никелевым электрокатализатором 60%Ni/KB600 ЦВА кривая выделения водорода для гибридного материала имеет схожий вид, поведение. Плотность тока – 10 $\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ достигается при – 287 мВ для гибридных материалов и – 256 мВ для 60 %Ni/KB600. Оба электрода заметно уступают в каталитической активности платиновому коммерческому катализатору, для которого плотность тока – 10 $\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ достигается при – 93 мВ.

Однако, в сравнении с никелевым катализатором разница в 31 мВ не такая существенная, поэтому можно заключить, что гибридный материал проявляет умеренную каталитическую активность в выделении водорода. Возможно, изменение состава и поверхностного состояния электродов поспособствует увеличению активности в исследуемой реакции.

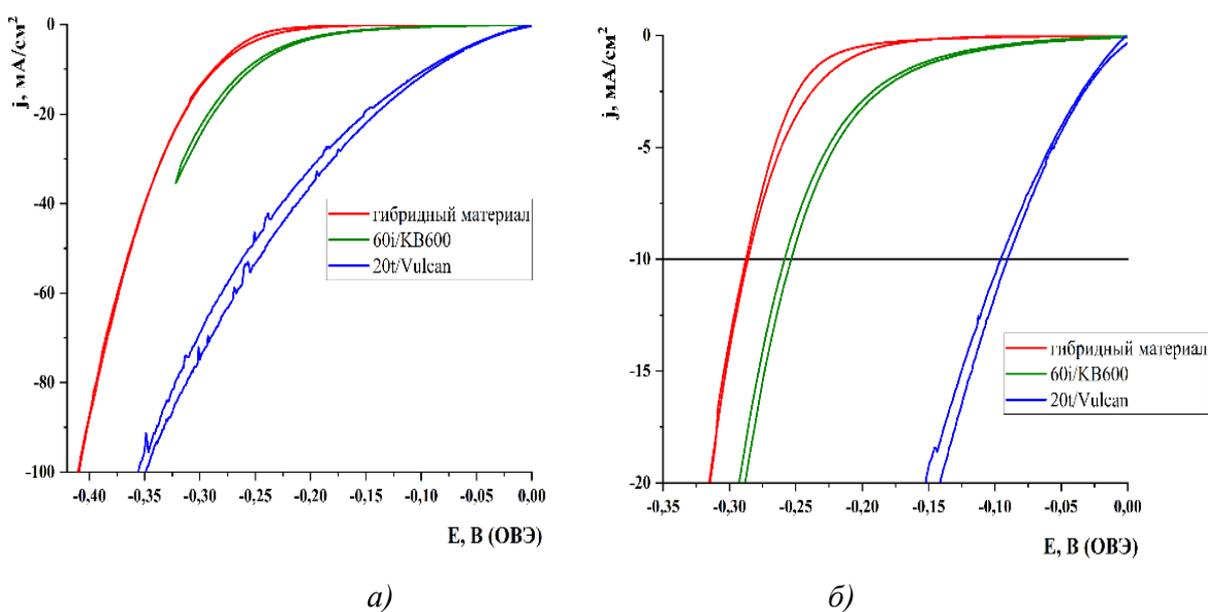


Рис. 2. ЦВА кривые выделения водорода для гибридных материалов в сравнении с катализаторами (*a*) увеличенная область ЦВА кривых (*б*) для сравнения значений потенциала при плотности тока $-10 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$, скорость развертки $5 \text{ мВ}\cdot\text{с}^{-1}$

Из рис. 2 также видно, что при более высокой плотности тока ($-100 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$) разница в потенциале между гибридным материалом и коммерческим Pt/C составляет чуть более 50 мВ, что также указывает на перспективность применения данного гибридного материала в щелочных электролизерах.

Авторы выражают благодарность за помощь в проведении исследований электрокаталитической активности д.х.н., профессору, зав. отделом нетрадиционных каталитических процессов ИК СО РАН Козлову Д.В. и мл. науч. сотр. Института катализа СО РАН Кузнецову А.Н.

Список источников

1. Врублевская О.И., Щербакова А.Б., Кудачко [и др.]. Каталитическая активность порошковых сплавов никель–медь в процессах электрохимического выделения водорода в растворе щелочи и щелочном растворе этанола // Изв. Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук, 2022. Т. 58. С. 36–44.
2. Chakrabartty S., Gopinath C.S., Raj C.R [et al.]. Polymer-based hybrid catalyst of low Pt content for electrochemical hydrogen evolution // International Journal of Hydrogen Energy. 2017. Vol. 42. Pp. 22821–22829.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЛАСТИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ И ПРЕДЛАГАЕМЫЕ АЛГОРИТМЫ ЕЁ РЕШЕНИЯ

П.В. Кременской

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Представлена математическая формализация задачи оценки качества пластиковых изделий, описаны предлагаемые алгоритмы решения этапов данной задачи на основе использования технологий искусственного интеллекта.

Ключевые слова: пластиковые изделия, искусственный интеллект, выявление дефектов, цифровой двойник, математическая модель

В вопросе сокращения отходов важную роль играет оценка качества пластиковых изделий. Отслеживаемые уже на этапе производства дефекты в готовых изделиях помогут оптимизировать расход материалов и деталей на производстве.

Перспективным видится использование технологий искусственного интеллекта с целью автоматизировать процесс сравнения готового изделия с его цифровым двойником [1]. При этом технологии ИИ будут использоваться на двух этапах процесса оценки качества пластикового изделия: при поиске дефектов с помощью машинного зрения [2] и при вынесении решения о пригодности пластикового изделия к использованию. Концептуальная схема предлагаемого подхода представлена на рис. 1.

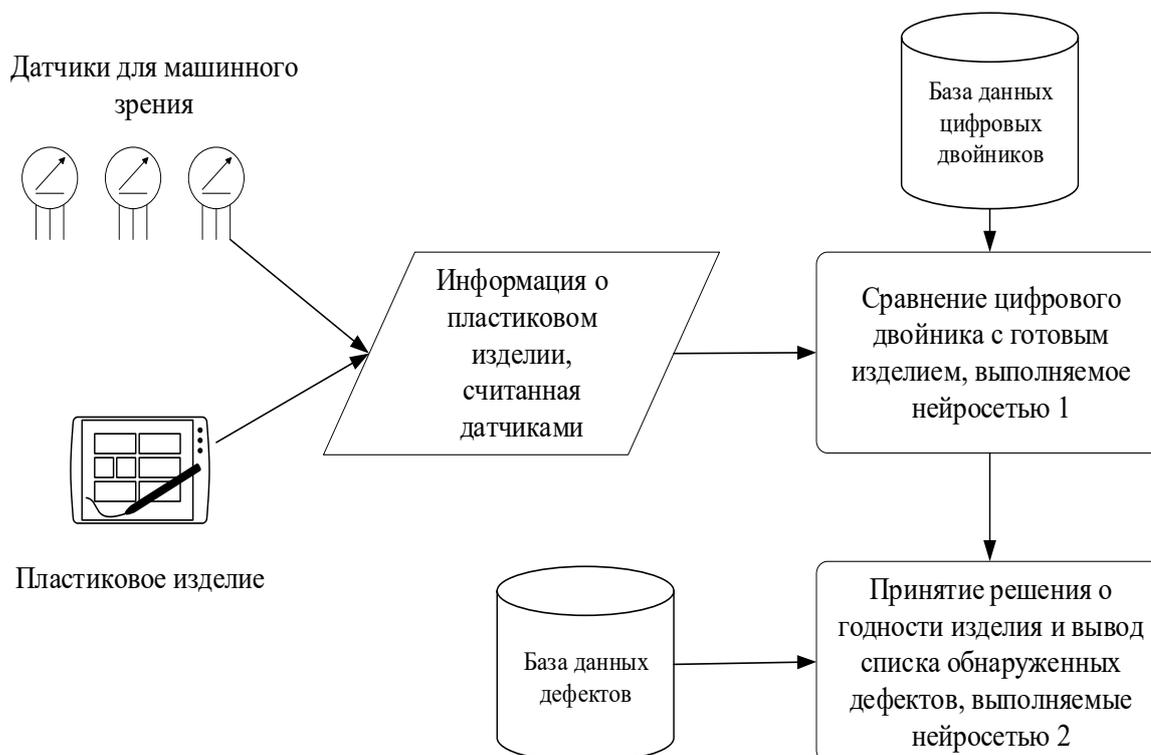


Рис. 1. Концептуальная схема предлагаемого подхода

Рассмотрим входные данные, которые будут использоваться в данной задаче.

Множество $DT = \langle (x_1, y_1, r_1), \dots, (x_n, y_n, r_n) \rangle$, где n – количество точек на границе цифрового двойника. Данное множество представляет собой цифрового двойника пластикового изделия.

Комбинация $(x_i, y_i, r_i), i \in 1, \dots, n$ представляет собой координаты границы изделия и угол, под которым относительно центра изделия они расположены. Множество $CD = \langle (x_1, y_1, r_1), \dots, (x_m, y_m, r_m) \rangle$, где m – количество точек, считанных лидарами. Данное множество представляет собой считанную информацию о готовом изделии на основе данных, полученных с лидаров. Комбинация $(x_j, y_j, r_j), j \in 1, \dots, m$ представляет собой координаты границы изделия и угол, под которым относительно центра изделия они расположены.

Множество координат лидаров $L = \langle (xl_1, yl_1, rl_1), \dots, (xl_n, yl_n, rl_n) \rangle$, где l_n – количество лидаров. Данное множество описывает координаты установленных по краям лидаров и относительный угол от центра платформы.

Множество известных дефектов пластиковых изделий

$$D = \langle d_1, \dots, d_{dn} \rangle,$$

где d_n – количество известных дефектов.

Целевой функцией является функция $F(DT, CD) = \{0; 1\}$, принимающая значение 0 или 1 в зависимости от того, является ли пластиковое изделие годным для использования или нет.

Рассмотрим подробнее этапы:

1. Задача создания и верификации цифрового двойника. Для данной задачи цифровой двойник представляет собой совокупность координат точек, расположенных на границе пластикового изделия. Оценка достоверности модели цифрового двойника проводится с помощью сравнения модели с реальными пластиковыми изделиями, на которых присутствует минимальное количество дефектов. Данная задача может быть решена с помощью среднеквадратического отклонения, которое должно стремиться к минимуму

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i^{IT} - x^{DT})(y_i^{IT} - y^{DT})} \rightarrow \min,$$

где IT – массив координат «идеальных» пластиковых изделий.

2. Задача конвертации координат, полученных от лидаров, в координатную систему цифрового двойника.

От каждого лидара получается набор данных (lx_1, lr_1) , где lx_1 – расстояние от лидара до пластикового изделия, lr_1 – угол, под которым расположена точка на пластиковом изделии от лидара. ly – высота платформы – является общим параметром для всех лидаров, так как лидары расположены на этой платформе.

Соответственно, после получения координат от лидара необходимо конвертировать их в ту систему координат, в которой хранится цифровой

двойник, так как отсчёт в системе координат цифрового двойника начинается от условного центра изделия, в системе координат лидара – от самого лидара. Конвертация из одной системы координат в другую осуществляется по формуле

$$x = \sqrt{l_x^2 + x_l^2 - 2 * l_x * x_l * \cos l_r},$$

и фактически заключается в нахождении стороны треугольника по известным двум другим сторонам и углу между лидаром и точкой. Схематично платформа с расположенным на нём пластиковым изделием и лидарами по краям платформы представлена на рис. 2.

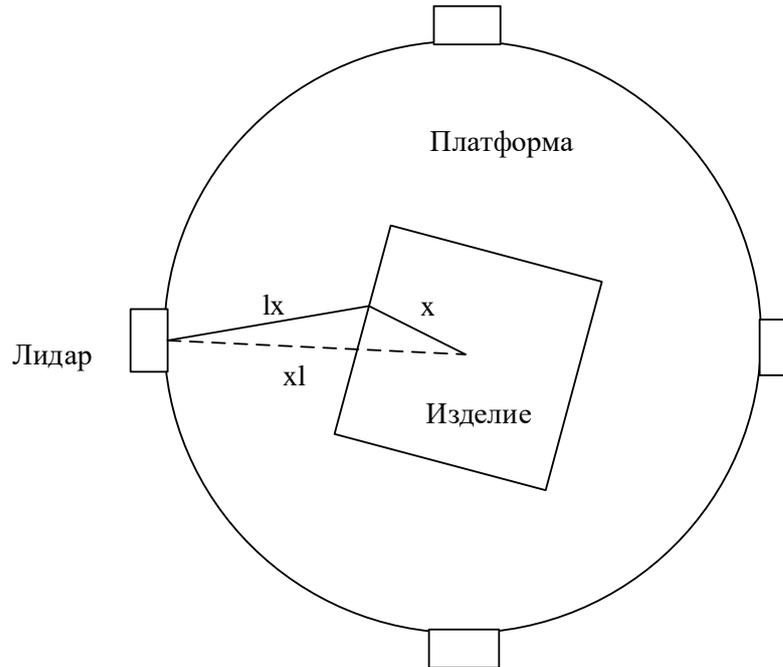


Рис. 2. Схематичное изображение платформы с пластиковым изделием

3. Задача определения угла и смещения, под которым находится изделие. Так как не получится расположить пластиковое изделие по центру платформы, необходимо сделать коррекцию на поворот изделия и его смещение относительно центра.

Данную задачу предлагается решать на основе выделения ключевых позиций в пластиковом изделии. Зная координаты ключевой позиции (ими могут выступать углы изделия или выступающие части), мы можем сделать коррекцию остальных точек пластикового изделия на разницу между реальным положением и углом ключевой позиции и ожидаемыми соответствующими параметрами.

4. Задача сравнения изделия с цифровым двойником. Для её решения предлагается использовать сети прямого распространения [3]. В качестве входных данных используются конвертированные данные, считанные с лидаров. Выходы нейросети – известные дефекты, по каждому из которых получается оценка $de_i = [0;1]$, $i = 1, \dots, d_n$. Чем ближе оценка de_i к единице, тем более вероятно наличие дефекта в изделии, и наоборот. Нейросеть обучается на устройствах с известными дефектами.

5. Задача вывода о пригодности пластикового изделия. Здесь предлагаются три возможных варианта, которые будут исследованы в дальнейшей работе:

а) Принятие строгого отсечения годных пластиковых изделий на основе работы нейросети из предыдущего этапа $\forall de_i > \varepsilon$, где ε – порог, после которого на шкале $[0;1]$ изделие признаётся некачественным;

б) Использование второй нейросети совместно с первой, на вход которой поступают данные о дефектах de_i . Выходом является решение о пригодности пластикового изделия на шкале $[0;1]$;

в) Построение визуальной 3D-модели устройства на основе данных с лидаров, и дальнейшая оценка дефектов на нём с помощью конволюционных нейронных сетей [4] или сетей типа *YOLO* [5]. То есть получение оценки фактически с помощью компьютерного зрения, только вместо реального изображения на вход нейросети будет подаваться модель, построенная на основе данных с лидаров. Какой из этих способов даст лучший результат, будет определено в дальнейших исследованиях.

Таким образом, в данной статье осуществлена математическая формализация задачи оценки качества пластиковых изделий и предложены алгоритмы её решения, основанные на использовании технологий цифрового двойника и искусственного интеллекта.

Список источников

1. Soderberg R., Warmefjord K., Carlson J.S., Lindkvist L. Toward a Digital Twin for real-time geometry assurance in individualized production // CIRP Annals. 2017. №66-1. Pp. 137–140.

2. Кузнецов А.С., Козлецов А.П. Разработка программного обеспечения контроля качества пластиковых изделий с использованием алгоритмов машинного зрения // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. 2013. №13-2(59). С. 111–113.

3. Baldi P., Vershynin R. The capacity of feedforward neural networks // Neural Networks. 2019. №116. Pp. 288–311.

4. Zeiler M., Fergus R. Visualizing and Understanding Convolutional Networks // Computer Vision - ECCV 2014. 2014. №1. Pp. 818–833.

5. Jiang P., Ergu D., Liu F., Cai Y., Ma B. A Review of Yolo Algorithm Developments // Procedia Computer Science. 2022. №199. Pp. 1066–1073.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ОНЛАЙН-КОМПИЛЯТОР КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ ИТ-КОМПЕТЕНЦИЙ

Д.Н. Куцкий, О.С. Тушканова

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Описаны достоинства и недостатки онлайн-компиляторов и опыт их использования при обучении программированию.

Ключевые слова: образовательный процесс, электронное обучение, электронные образовательные ресурсы, онлайн-компилятор, программирование

Актуальной проблемой последних лет является дефицит специалистов в области информационных технологий [1].

Сфера информационных технологий не ограничивается только разработчиками – в процессе создания качественного информационного продукта участвует множество людей. Однако программирование формирует основу многих инноваций, которые определяют современный прогресс. Исключительная важность этого навыка проявляется в различных аспектах жизни современного общества, от бизнеса и образования до науки и искусства.

Обучение программированию предполагает активное подкрепление теоретического материала практикой [2]. Практическая составляющая значительно усиливается за счет демонстрации небольших программ и внесения изменений в код по ходу объяснения теоретических аспектов. В то же время формирование профессиональных навыков ИТ-специалиста невозможно без самостоятельной работы над кодом, в процессе которой часто возникает потребность в проверке работоспособности некоторого фрагмента или отдельной подпрограммы. Для описанных случаев целесообразно использовать онлайн-сервисы разработки и проверки кода или, другими словами, онлайн-компиляторы.

Основными достоинствами данных веб-сервисов являются:

- простота использования и доступность;
- отсутствие необходимости установки интегрированной среды разработки;
- выполнение кода можно проверить с помощью смартфона;
- просмотр и отладку кода могут осуществлять несколько людей одновременно;
- встраивание примеров кода в интерактивную лекцию.

На настоящий момент в сети доступно несколько десятков сервисов разработки и проверки кода с различными функциональными возможностями. Одним из наиболее используемых онлайн-компиляторов является *OnlineGDB*, который наряду с возможностью совместной работы, обладает следующим рядом достоинств:

- свободный доступ;

- возможность сохранения проектов;
- наличие отладчика;
- возможность создавать проекты из нескольких программных модулей;
- поддержка работы с файлами.

Использование онлайн-компилятора в режиме офлайн обучения позволяет повысить наглядность приводимых в лекционном материале листингов, а также упрощает процедуру выдачи задания на лабораторные работы. Кроме того, виртуальные классные комнаты являются «хранилищем» работающих примеров программ, а за счет возможности совместного доступа к коду программы, будущие ИТ-специалистов получают навык работы в команде (рис. 1).

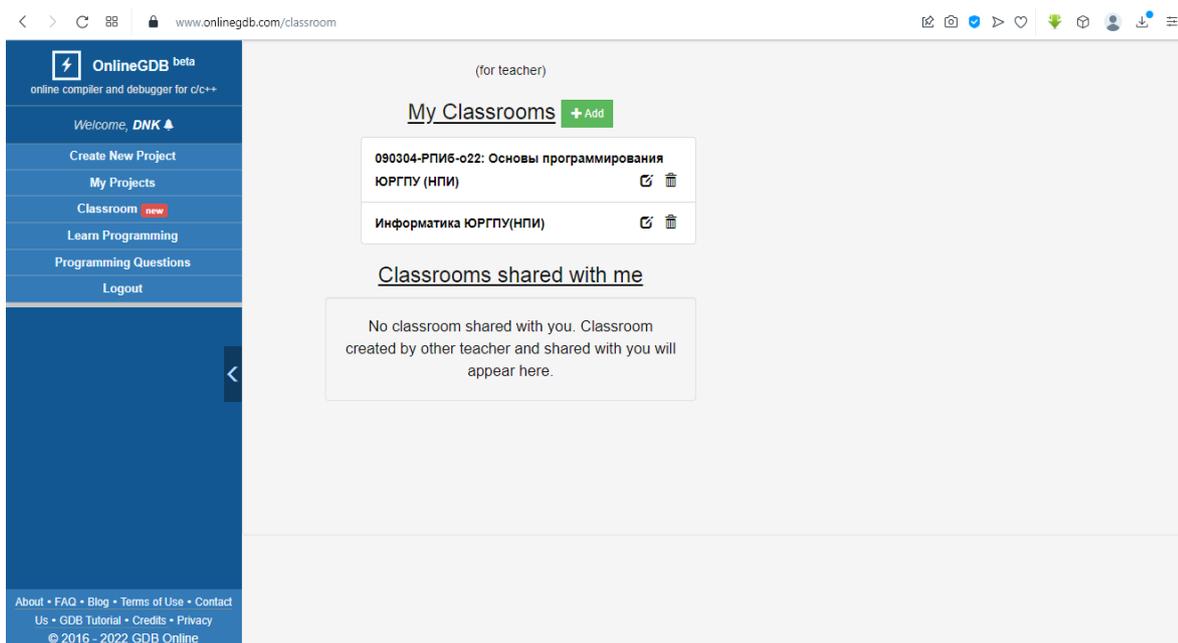


Рис. 1. Список виртуальных классов

На сегодняшний день дистанционное обучение является актуальной тенденцией в образовании. Применение электронного обучения и дистанционных образовательных технологий закреплено Федеральным законом «Об образовании в Российской Федерации». В пункте 3 статьи 16 закона предусматривается формирование перечня направлений подготовки высшего образования, для которого реализация соответствующих образовательных программ не может быть построена исключительно в дистанционной форме [3]. Однако концепция смешанного обучения может применяться свободно.

К недостаткам данного формата обучения можно отнести [4]:

- сложность самоконтроля и поддержания мотивации: для студентов с низким уровнем самоорганизации отсутствие постоянного контроля может спровоцировать снижение темпов обучения;
- недостаток коммуникаций: дистанционные технологии ограничивают взаимодействие с другими участниками процесса, что препятствует развитию навыков общения и командной работе.

Минимизация указанных недостатков также может быть выполнена за счет использования сервиса *OnlineGDB*, путем создания виртуальной «классной комнаты» и предоставления к ней доступа студентам по ссылке (рис. 2).

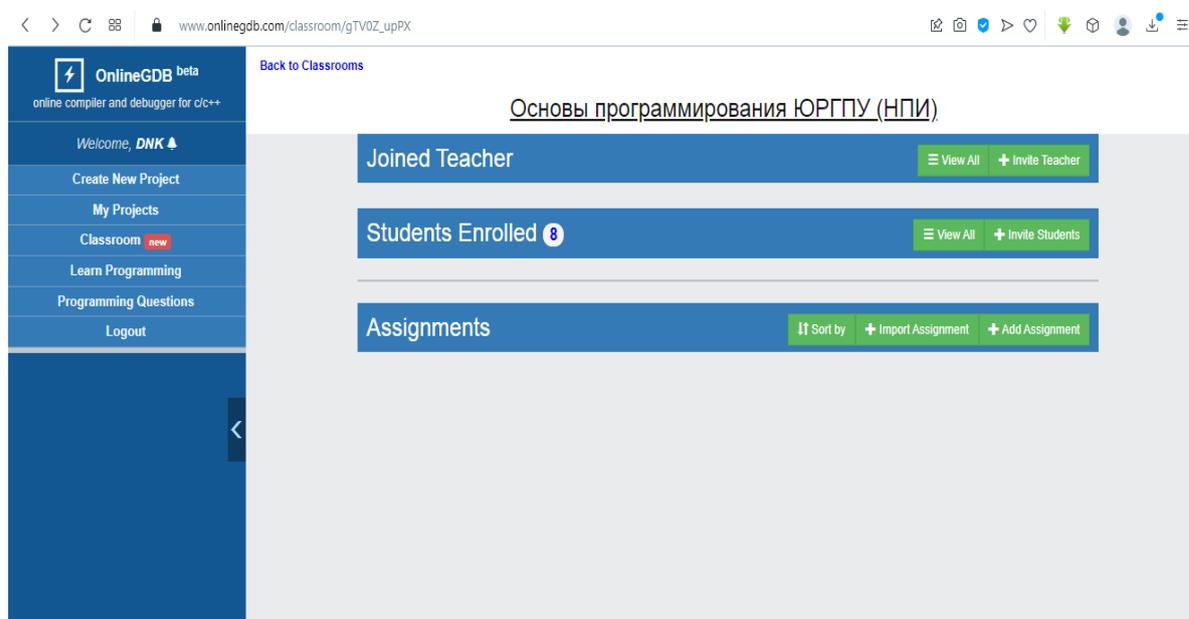


Рис. 2. Структура виртуального класса

Онлайн-компилятор не может заменить полноценную интегрированную среду разработки, но в то же время данные сервисы являются важным вспомогательным инструментом учебного процесса.

Список источников

1. Куций Д.Н., Гринченков Д.В., Щуров А.Н. Методы работы с данными и корпоративные информационные системы на примере 1С в рамках проекта «Цифровые кафедры» // Кибернетика энергетических систем: сб. ст. по материалам XLIV Междунар. науч.-техн. конф., 08-10 ноября 2022 года / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ). Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2013. С. 292–295.

2. Андрианов И.А., Ржеуцкая С.Ю., Харина М.В. Междисциплинарный дистанционный практикум для студентов ИТ-направлений // Открытое образование. 2021. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhdistsiplinarynyy-distantionnyy-praktikum-dlya-studentov-it-napravleniy> (дата обращения: 3.10.2022).

3. Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ (редакция от 25.12.2023 с изм. и доп., вступ. в силу с 01.05.2024) «Об образовании в Российской Федерации» // СПС КонсультантПлюс режим доступа http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ (дата обращения 23.05.2024).

4. Дистанционное обучение как современная тенденция развития общества / М.В. Мухина, Е.С. Мухина, А.Е. Булганина, А.А., Д.А. Бычков // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2019. №6 (40). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/distantionnoe-obuchenie-kak-sovremennaya-tendentsiya-razvitiya-obschestva> (дата обращения: 23.05.2024).

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО УПЛОТНЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МЕДНОКАРБИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

С.Н. Миронова, Р.А. Егоров, Л.М. Белянкина

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Проведен обзор технологий электроконтактного уплотнения применительно к производству порошковых материалов на основе меднокарбидных композиций. Приведены примеры использования разновидностей технологии электроконтактного уплотнения. Подтверждена эффективность данного технологического варианта электроконтактного уплотнения для изготовления порошковых изделий на основе меднокарбидной композиции.

Ключевые слова: электроконтактное уплотнение, медный порошок дисперсноупрочненные сплавы, карбиды металлов

Технология порошковой металлургии позволяет изготавливать изделия из дисперсноупрочненных материалов, с внедренными в металлическую матрицу твердыми керамическими частицами. Эти материалы отличаются по способу образования упрочняющих фаз, их концентрации, расположения и размерам от стареющих дисперсноупрочненных сплавов. В частности, дисперсноупрочненные сплавы на основе меди благодаря высоким значениям прочности, стойкости к усталостным напряжениям, трибологическим характеристикам применяются в различных отраслях промышленности. [1-5]

Несмотря на многочисленные исследования в настоящее время отсутствуют общепризнанные положения, позволяющие выбрать наиболее эффективную технологию формирования дисперсноупрочненных порошковых сплавов.

Целью настоящей работы является обобщение сведений об технологических возможностях современных методов порошковой металлургии. К этим методам относятся технологии получения порошковых изделий из электропроводных материалов, заключающиеся в загрузке порошка в проходной штамп и горячем профильном прессовании путем уплотнения и спекания прямым пропусканием электрического тока [6].

Недостатком этой технологии являются невозможность изготовления изделий с переменным поперечным сечением по их длине и низкое качество материала порошковых изделий вследствие относительно высокой конечной пористости.

Согласно материалам статьи Н. Suematsu et al, Two-step-pressurization method in pulsed electric current sintering of MoO_3 for production of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ radioactive isotope [7] известна технология для получения высокоплотных изделий из порошка MoO_3 .

Однако из материалов статьи следует, что авторами использовалась методика проведения эксперимента, включающая пропускание электрического тока в процессе прессования. Пропускание электрического тока при первоначальном приложении давления вызывает сцепление частиц, затрудняющее структурную деформацию прессовки, характерную для начальной стадии уплотнения. В результате чего для получения высокоплотного состояния необходимо приложение большего усилия прессования.

Данная технология получила свое развитие в способе изготовления изделий из шихты на основе металлического порошка [8]. Сущность способа заключается в уплотнении и спекании шихты на основе металлического порошка в закрытом штампе при периодическом прямом пропускании электрического тока в продольном направлении в процессе прессования, причем после достижения пористости 10–15 % уплотнение осуществляется перемещением нижнего пуансона. Недостатком этого способа является невозможность получения высокого предела прочности на изгиб и низкой остаточной пористости для порошковых материалов на основе металлического порошка, модифицированных карбидными составляющими.

На устранение этих недостатков направлена технология изготовления изделий из шихты на основе металлического порошка, модифицированного диэлектрическими порошками, описанная в источнике [9].

Реализация данной технологии позволяет изготавливать изделия из порошковых материалов на основе металлического порошка, модифицированного диэлектрическими порошками с высоким пределом прочности и низкой остаточной пористостью.

Технологический процесс включает в себя следующие приемы операций:

1. Предварительное уплотнение шихты из порошковых материалов на основе металлического порошка, модифицированного диэлектрическими порошками до пористости 25–30 % в закрытом штампе.
2. Затем постоянное прямое пропускание электрического тока в продольном направлении.
3. Последующее уплотнение давлением, превышающим первоначальное.

Закрытая конструкция штампа позволяет изготавливать порошковые изделия с переменным поперечным сечением по их длине. Прессование шихты с первоначальным давлением обеспечивает плотную укладку частиц порошка, улучшающее условия для протекания электрического тока. Постоянное пропускание электрического тока после процесса прессования позволяет регулировать температуру в полости матрицы и обеспечивает улучшение межчастичного сращивания. Последующее уплотнение шихты давлением, превышающим первоначальное, позволяет получать порошковые изделия с остаточной пористостью 0,5–1 % и высоким пределом прочности на изгиб.

Для подтверждения технических данных рассматриваемой технологии в лаборатории на кафедре «Технология машиностроения, технологические машины и оборудование Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова изготовлен контакт электрический с переменным поперечным сечением по указанному способу в трех вариантах:

1. Порошковая шихта следующего состава: медный порошок марки ПМС-1 – 20 % и карбид вольфрама WC-08 – 80 % подвергалась статическому прессованию в нетокопроводящей матрице закрытого штампа при начальном давлении 250 МПа с последующим пропусканием электрического тока силой 1000 А. Продолжительность цикла составляла 40 с. Дальнейшее уплотнение осуществлялось перемещением верхнего и нижнего пуансонов. Конечная пористость материала контакта электрического с переменным поперечным сечением составила 1,2 % при давлении 400 МПа. Относительно низкое значение остаточной пористости и качественное межчастичное сращивание позволило обеспечить предел прочности на изгиб 1230 МПа.

2. Порошковая шихта следующего состава: медный порошок марки ПМС-1 – 80 % и карбид титана TiC – 20 % подвергалась статическому прессованию в нетокопроводящей матрице закрытого штампа при начальном давлении 220 МПа с последующим пропусканием электрического тока силой 1000 А. Продолжительность цикла составляла 30 с. Дальнейшее уплотнение осуществлялось перемещением верхнего и нижнего пуансонов. Конечная пористость материала контакта электрического с переменным поперечным сечением составила 1,8 % при давлении 320 МПа. Относительно низкое значение остаточной пористости и качественное межчастичное сращивание позволило обеспечить предел прочности на изгиб 780 МПа.

3. Порошковая шихта следующего состава: медный порошок марки ПМС-1 – 80 % и карбид хрома Cr₃C₂ – 20 % подвергалась статическому прессованию в нетокопроводящей матрице закрытого штампа при начальном давлении 240 МПа с последующим пропусканием электрического тока силой 1000 А. Продолжительность цикла составляла 35 с. Дальнейшее уплотнение осуществлялось перемещением верхнего и нижнего пуансонов. Конечная пористость материала контакта электрического с переменным поперечным сечением составила 1,6 % при давлении 350 МПа. Относительно низкое значение остаточной пористости и качественное межчастичное сращивание позволило обеспечить предел прочности на изгиб 820 МПа.

Таким образом, в результате выполненного исследования подтверждена эффективность данного технологического варианта электроконтактного уплотнения для изготовления порошковых изделий на основе медно-карбидной композиции.

Список источников

1. Портной К.И., Бабич Б.Н. Дисперсноупрочненные материалы. Серия «Успехи современного материаловедения». М.: Металлургия, 1974. 200 с.

2. Витязь П.А., Ловшенко Ф.Г., Ловшенко Г.Ф. Механически легированные сплавы на основе алюминия и меди. Мн.: Беларуская навука, 1998. 351 с.
3. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение в XXI веке. Перспективы и задачи // Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932-2002. М.: МИСИС-ВИАМ, 2002. С. 23-47.
4. Chawla N., Shen Y.L. Mechanical Behavior of Particle Reinforced Metal Matrix Composites // Advanced Engineering Materials. 2001. Vol. 3. № 6. Pp. 357–429.
5. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. М.: Металлургия, 1980. 496 с.
6. Пат. SU 1050552.К. Лихтингхаген, Г. ГмбХ-ДЕФА Верке. Способ изготовления спеченных изделий из электропроводных материалов.
7. Suematsu H. et al, Two-step-pressurization method in pulsed electric current sintering of MoO₃ for production of ^{99m}Tc radioactive isotope // J. of Asian Ceramic Soc., 2020, v.8, no. 4, Pp. 1154–1161.
8. Пат. РФ 2210460 Егоров С.Н., Медведев Ю.Ю., Егоров М.С., Егорова И.Ф. Способ изготовления изделий из шихты на основе металлического порошка.
9. Пат. РФ 2765562 Миронова С.Н., Егоров С.Н., Миронова А.С., Егорова Р.В. Способ изготовления изделий из шихты на основе металлического порошка, модифицированного диэлектрическими порошками опубл. 01.02.2022, Бюл. № 4

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ДАННЫХ

Д.В. Гринченков, И.В. Романенко, И.Е. Глазырин

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. В эпоху больших данных и искусственного интеллекта, выбор правильных инструментов для анализа и моделирования становится критически важным. Эта статья проводит анализ и сравнение популярных инструментов в этой области. Рассмотрены Python и R для статистического анализа и TensorFlow и PyTorch для глубокого обучения. Выбор между этими инструментами зависит от специфики задач и предпочтений команды разработчиков.

Ключевые слова: цифровые технологии, моделирование, анализ данных, машинное обучение, языки программирования, фреймворки, *Python, R, TensorFlow, PyTorch*

В современном мире, где данные становятся новым типом ресурса, аналогичного нефти в XX в., цифровые технологии играют решающую роль в извлечении, обработке и анализе этого бесценного актива. Технологии моделирования и анализа данных предоставляют уникальные возможности для преобразования сырых данных в ценные знания, которые могут способствовать научному прогрессу, оптимизации бизнес-процессов и улучшению качества жизни населения.

Освещение таких инструментов, как *Python* и *R* для статистического анализа позволяет оценить их вклад в развитие современных методик данных. *Python*, благодаря своей мощной экосистеме и библиотекам, стал одним из наиболее популярных языков программирования в области анализа данных. *R*, с другой стороны, продолжает быть предпочтительным выбором среди статистиков благодаря своим глубоким аналитическим возможностям. В то же время, *TensorFlow* и *PyTorch* как инструменты для машинного обучения, предлагают разработчикам мощные и гибкие фреймворки для создания и тренировки моделей глубокого обучения, каждый со своими уникальными особенностями и преимуществами. Изучение и сравнение данных технологий необходимо для понимания, как выбор технологии может влиять на результаты исследований и разработок в области больших данных и искусственного интеллекта.

Python и *R* являются ведущими языками программирования в области анализа данных, каждый из которых имеет свои уникальные преимущества и специализированные библиотеки, которые используются в анализе данных и статистике.

Python был создан в 1991 г. Гвидо ван Россумом и изначально не ориентировался строго на анализ данных, но благодаря своей универсальности быстро нашёл применение в этой области. Основные библиотеки включают *NumPy* для работы с массивами, *Pandas* для работы с табличными данными,

Matplotlib и *Seaborn* для визуализации, и *Scikit-learn* для машинного обучения [1]. Данный язык широко используется в таких областях, как машинное обучение, искусственный интеллект, веб-разработка и анализ данных в крупных технологических компаниях. Его универсальность, широкая поддержка сообщества, обширная библиотека пакетов для различных приложений являются его сильной стороной. Из недостатков отмечают более слабую специализацию в статистическом анализе по сравнению с языком программирования *R*.

R был создан в 1993 г. Робертом Джентльманом и Россом Ихакой и изначально разрабатывался как статистическое программное обеспечение для исследований в области статистики. Основные пакеты включают *ggplot2* для визуализации, *dplyr* для обработки данных, *tidyr* для трансформации данных и *caret* для машинного обучения [2]. Язык *R* преобладает в академических кругах и применяется для статистического анализа и графического представления данных, особенно в таких узкоспециализированных областях, такие как биостатистика и эпидемиология. Преимуществами этого языка являются специализированные статистические функции, превосходные возможности визуализации, глубокая интеграция с методами статистического анализа, однако это не делает его универсальным языком программирования, уступая языку *Python* в меньшей универсальности и масштабируемости. Также, один из недостатков *R* является ограниченные возможности в области машинного обучения и искусственного интеллекта.

По данным опроса, проведенного *Stack Overflow* в 2023 г., *Python* используется 49,28 % разработчиков, в то время как *R* выбирают 4,23 % опрошенных [3]. Это подчеркивает растущую популярность *Python* благодаря его универсальности и мощному набору библиотек, таких как *NumPy*, *Matplotlib* и *Pandas*, делающих его предпочтительным выбором для анализа данных и машинного обучения. В то время как *R* остается предпочтительным вариантом среди статистиков и данных аналитиков благодаря его встроенным статистическим функциям и пакетам, таким как *ggplot2* и *dplyr*.

На рис. 1 представлен сравнительный график популярности языков программирования *Python* и *R* [4].

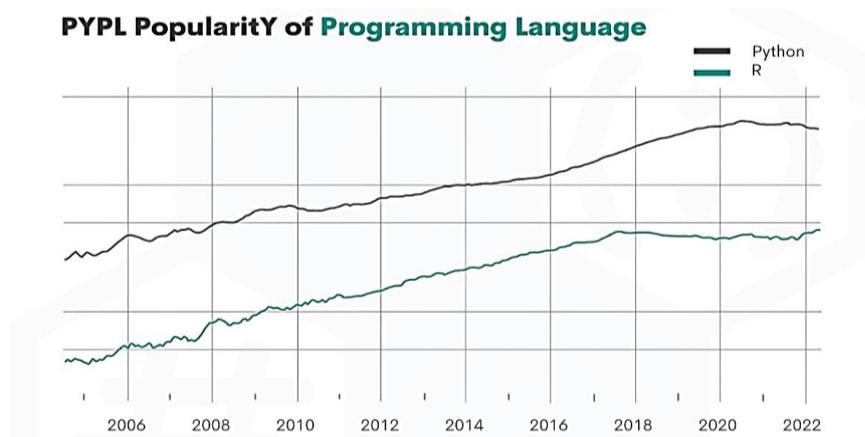


Рис. 1. Сравнительный график использования языков программирования *Python* и *R*

Эти сравнения позволяют выявить ключевые различия между *Python* и *R*, обосновывая выбор языка в зависимости от конкретных целей исследования или разработки.

TensorFlow и *PyTorch* – это два лидирующих фреймворка для машинного обучения и глубокого обучения. *TensorFlow*, разработанный *Google*, и *PyTorch*, разработанный *Facebook*, являются двумя ведущими фреймворками для глубокого обучения, каждый из которых имеет свои уникальные особенности и предпочтения среди разработчиков и исследователей.

TensorFlow был выпущен в 2015 г. и стал одним из самых популярных инструментов для создания сложных моделей машинного обучения, благодаря своей масштабируемости и поддержке от *Google*. Данный фреймворк использует статические вычислительные графы, что обеспечивает эффективное масштабирование и развертывание, но может быть менее интуитивным в итеративной разработке моделей. Процесс обучения модели часто требует более строгой предварительной настройки и конфигурации, что может затруднить быстрые итерации и эксперименты. Многие разработчики отмечают, что *TensorFlow* лучше подходит для промышленных приложений и производства из-за его масштабируемости и интеграции с облачными платформами *Google* [5].

PyTorch был представлен спустя некоторое время после выпуска *TensorFlow*, в 2016 г., и быстро завоевал популярность в академических кругах за счёт своей гибкости и удобства использования, особенно при экспериментах и исследованиях. *PyTorch* предлагает динамические вычислительные графы (также известные как *eager execution*), что упрощает отладку и динамическое изменение графов во время выполнения, что особенно полезно в научных исследованиях и при разработке новых моделей [6]. Благодаря своей гибкости и динамическим графам, позволяет исследователям легче модифицировать и оптимизировать алгоритмы во время выполнения. По данным из *Scopus* и *Google Scholar*, *TensorFlow* и *PyTorch* активно цитируются в научных работах, но *PyTorch* показывает рост популярности в последние годы в сфере академических публикаций за счет его гибкости и удобства использования в экспериментальных настройках. Этот факт является одним из преимуществ фреймворка, т.к. исследователи предпочитают *PyTorch* именно для академических проектов из-за его гибкости и простоты в экспериментировании.

Согласно исследованию *AssemblyAI*, *PyTorch* стал широко применяться в кратчайшие сроки, и его использование в статьях, в которых применяется *PyTorch* или *TensorFlow*, выросло с приблизительно 7 % до почти 80 % за несколько лет [7]. График популярности технологий представлен на рис. 2. Согласно опросу, *Kaggle Machine Learning and Data Science Survey 2021*, *TensorFlow* используется 14 % опрошенных специалистов, в то время как *PyTorch* отметил рост популярности и теперь используется 11 % респондентов *Kaggle ML & DS Survey 2021*.

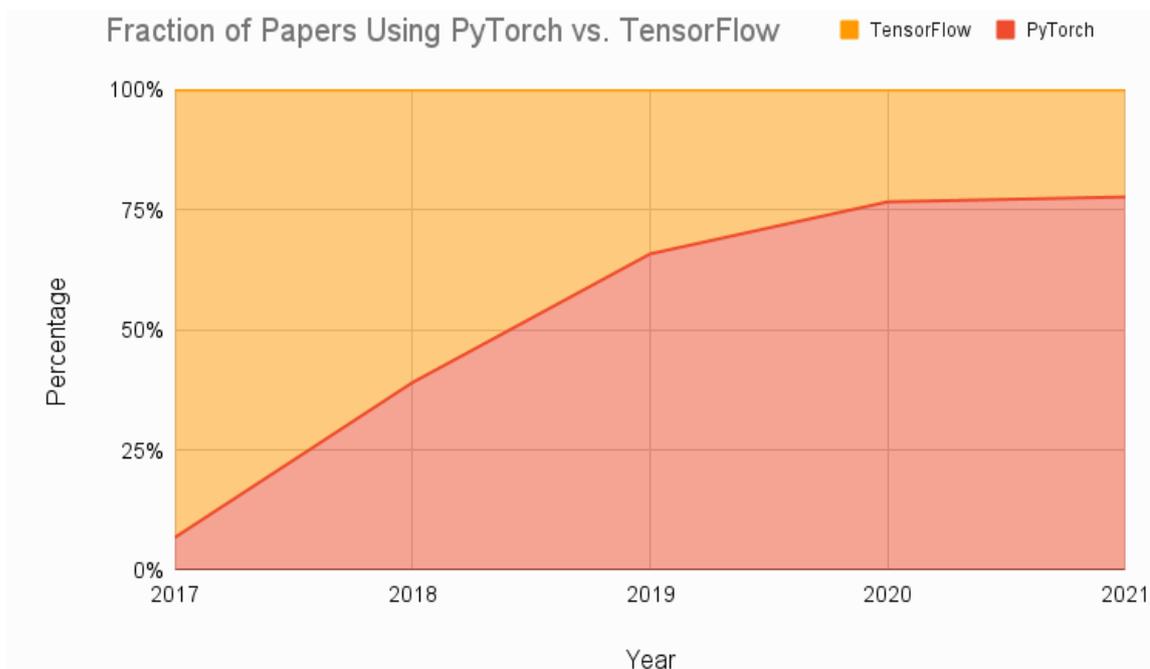


Рис. 2. Сравнительный график популярности использования технологий *PyTorch* и *TensorFlow*

Оба фреймворка предлагают мощные возможности для создания и тренировки сложных моделей глубокого обучения, но *PyTorch* выигрывает среди исследователей благодаря своей гибкости и интуитивно понятным *API* [8]. Эти и многие другие факторы должны быть учтены при выборе подходящего инструмента для конкретных задач глубокого обучения, учитывая, как технические аспекты, так и контекст использования.

Результаты сравнения показывают, что выбор конкретного инструмента должен зависеть от специфических требований проекта и предпочтений команды разработчиков. *Python* продолжает оставаться наиболее популярным языком для анализа данных в широком спектре приложений, благодаря своей универсальности, богатой экосистеме библиотек и широкой поддержке сообщества. *R*, в свою очередь, остаётся неоценимым инструментом в статистических исследованиях и академических кругах, благодаря его специализированным пакетам для статистического анализа и превосходным возможностям для визуализации данных.

TensorFlow лучше подходит для коммерческого и промышленного применения, включая сложные системы рекомендаций и распознавание изображений в продуктах Google, где требуется масштабируемость и интеграция с облачными платформами. *PyTorch*, предпочтительный выбор в академических кругах, выигрывает благодаря своей гибкости, что делает его идеальным для исследований и разработки новаторских моделей глубокого обучения, таких как *GANs* и модели перевода. Тенденции развития этих инструментов продолжают определять будущее направления в области данных и искусственного интеллекта, подчеркивая важность оставаться в курсе последних обновлений и научных исследований в этой области.

Список источников

1. Python documentation. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.python.org/> (дата обращения: 10.05.2024)
2. R documentation. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rdocumentation.org/> (дата обращения: 10.05.2024)
3. Stack Overflow Developer Survey 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://survey.stackoverflow.co/2023> (дата обращения: 10.05.2024)
4. Python vs R for Data Science. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.stratascratch.com/blog/python-vs-r-for-data-science/> (дата обращения: 10.05.2024)
5. TensorFlow. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tensorflow.org/> (дата обращения: 10.05.2024)
6. PyTorch. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pytorch.org/> (дата обращения: 10.05.2024)
7. PyTorch vs TensorFlow in 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.assemblyai.com/blog/pytorch-vs-tensorflow-in-2023/> (дата обращения: 10.05.2024).
8. Kaggle Machine Learning and Data Science Survey 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kaggle.com/c/kaggle-survey-2021/> (дата обращения: 10.05.2024).

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ТОКА ПЕРЕГРУЗА В ПРОВОДЕ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

В.А. Синецкая

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассматривается программная реализация расчета тока перегруза воздушных линий электропередачи с целью повышения эффективности энергосистемы.

Ключевые слова: линии электропередачи, допустимая токовая нагрузка, ток перегруза

Бережное отношение к экологии и энергосбережению является ключевой задачей современного общества. Мировое потребление электроэнергии растет из года в год и, согласно современным прогнозам, его рост продолжится [1,2]. Возникает необходимость передачи повышающегося объема электроэнергии по существующим линиям электропередачи (ЛЭП). Однако, чрезмерное повышение тока в линии может привести к её перегреву и последующему разрушению. На температуру провода и его прочность оказывают влияние погодные и климатические условия, а также продолжительность времени нагрева.

В аварийном режиме провод работает ограниченное время, поэтому рассчитывают аварийно допустимый ток как значение тока, при котором достигается аварийно допустимая температура провода за заданное время (ток перегруза). Рассчитанное таким образом значение тока получается выше, чем значение тока по действующей методике [3]. Таким образом, задача расчета тока перегруза в определенных погодных условиях является весьма актуальной для энергетической системы России.

Расчет тока перегруза. Идея алгоритма расчета тока перегруза состоит в пошаговом увеличении тока в проводе и последующем расчете температуры провода до тех пор, пока температура не достигнет аварийно допустимого значения.

Вычисляем начальную температуру провода и, если она окажется выше температуры окружающей среды, это будет означать наличие тока в проводе. Это значение тока можно вычислить по формуле

$$I = \sqrt{\frac{P_B - P_C}{k_M k_{\Pi} R_{20} (1 + \beta_r (\vartheta_{\text{пр}} - 20))}}, \quad (1)$$

где P_B – мощность, отдаваемая проводом в воздух за счет конвективного теплообмена и излучения, Вт; P_C – мощность солнечного излучения, поглощаемая проводом, Вт; k_M – коэффициент, учитывающий магнитные потери в проводе; k_{Π} – коэффициент, учитывающий поверхностный эффект; $\beta_r = \beta_r(\vartheta_{\text{пр}})$ – температурный коэффициент сопротивления, $1/^\circ\text{C}$; $\vartheta_{\text{пр}}$ – температура провода, $^\circ\text{C}$; R_{20} – сопротивление 1 м провода постоянному току при температуре 20°C , Ом.

Данное уравнение является следствием уравнения теплового баланса [3, с. 32], когда режим работы воздушной линии электропередачи является установившимся. Чтобы рассчитать значение тока перегруза будем увеличивать это значение тока на величину шага и вновь вычислять температуру провода, используя уравнение теплового баланса [3, с. 28]. Величину шага для первой итерации примем равным 1 % от первоначального значения.

Формальное описание алгоритма представлено ниже.

Алгоритм А1. Вычисление тока перегруза

Вход: $t_{ц}$ – целевое значение температуры провода в режиме перегруза (например, 90 °С);

Выход: I – значение тока, необходимое для достижения целевой температуры.

Начало.

1. Если температура провода имеет значение, большее, чем температура окружающего воздуха, значит провод был нагрет протекающим по нему током. Это значение тока будет принято в качестве начального значения. Выполняется расчёт тока по (1), необходимого для разогрева провода до заданной температуры при заданной температуре воздуха. Если температура провода не отличается от температуры окружающего воздуха, начальное значение тока будет принято равным 0 А.

2. Задаем начальное значение шага изменения тока, равное $dI = 100$ А.

3. Увеличиваем значение тока на величину шага: $I = I + dI$.

4. Вычисляем температуру провода T по методике, описанной в [3, с. 28] при текущем значении тока I .

5. Если значение температуры провода T оказалось выше целевого значения температуры $t_{ц}$, то:

$$I = I - dI$$

$$dI = dI / 2$$

Переход к шагу 3.

6. Если достигнуто целевое значение температуры провода, вернуть значение тока I , иначе переход на шаг 3.

Конец.

Программная реализация алгоритма. Алгоритм расчета тока перегруза реализован в программном комплексе «Мониторинг ВЛ 3.0» («Программный комплекс для расчета предельных токовых нагрузок по условиям сохранения механической прочности проводов и допустимых габаритов воздушных линий электропередач») [4,5].

На форме «Расчет тока перегруза» (рис. 1) задаются параметры расчета:

– погодные условия (для выбора представлены значения «Ясно», «Облачно», «Пасмурно», «Вечернее или ночное время»);

– время перегруза, с;

– целевое значение температуры провода (достигаемая температура провода), °С;

- температура провода, °С;
- направление ветра, градусы;
- скорость ветра, м/с.

Расчёт токов перегруза

Время перегруза, сек
600

Достижимая температура провода, °С
90

Ток перегруза, А
1013.2

Температура воздуха, °С
15

Погодные условия
Ясно

Направление ветра, град
90

Скорость ветра, м/с
0,6

Ток в проводе, А
323

Загрузить начальные условия
08.06.2021

РАССЧИТАТЬ

ЗАГРУЗИТЬ

ЗАКРЫТЬ

Рис. 1. Форма «Расчет тока перегруза»

Перечисленные данные можно ввести вручную, либо загрузить из базы данных, выбрав из выпадающего списка «Загрузить начальные условия» дату замера параметров для расчета.

После нажатия на кнопку «Расчитать» запускается модуль расчета тока перегруза и в поле «Ток перегруза, А» отображается рассчитанное значение тока.

Программное обеспечение находится в эксплуатации в ПАО «Россети», используется специалистами отдела энергетических режимов для планирования предельных токовых нагрузок в межрегиональных воздушных линиях электропередач.

Предложенная методика расчета токов перегруза планируется в качестве способа расчета аварийно допустимой токовой нагрузки в течение 20 минут в новой редакции Стандарта организации «Методика расчета предельных токовых нагрузок по условиям сохранения механической прочности проводов и допустимых габаритов воздушных участков линий электропередачи».

В дальнейшем планируется адаптация алгоритма расчета тока перегруза с учетом конструктивных особенностей современных проводов для воздушных линий электропередач и изменчивости погодных условий.

Список источников

1. World Energy & Climate Statistics – Yearbook 2022 [Электронный ресурс] – URL: <https://energystats.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html> [21.05.2024]
2. Варыгина А.О., Савина Н.В. Расчет длительно допустимого тока проводов нового поколения воздушных линий // Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2020; 22(4):3-15. DOI: 10.30724/1998-9903-2020-22-4-3-15.
3. СТО 56947007-29.240.55.143-2013. Методика расчета предельных токовых нагрузок по условиям сохранения механической прочности проводов и допустимых габаритов воздушных линий. Введен 13.02.2013.
4. Иванченко П.А., Синецкий Р.М., Синецкая В.А. Программный комплекс для расчета предельных токовых нагрузок по условиям сохранения механической прочности проводов и допустимых габаритов воздушных линий электропередач (Мониторинг ВЛ 3.0). – Свидет. о гос. регистр. программы для ЭВМ №2021666967, 2021.
5. Программный комплекс для расчета предельных токовых нагрузок по условиям сохранения механической прочности проводов и допустимых габаритов воздушных линий электропередач (Мониторинг ВЛ 3.0) // Реестр программного обеспечения. – URL: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/546077/>

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ВЛИЯНИЕ ВИРТУАЛИЗАЦИИ РЕСУРСОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ СИСТЕМ

А.Н. Панфилов, Н.О. Смык

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассматривается влияние виртуализации ресурсов на производительность и надежность высоконагруженных систем. Исследование основывается на анализе экспериментальных данных, полученных в результате тестирования различных конфигураций виртуализации.

Ключевые слова: виртуализация ресурсов, производительность систем, надежность систем, высоконагруженные системы, оптимизация производительности, управление ИТ-инфраструктурой, безопасность виртуализации, адаптивные системы

В современном мире информационных технологий виртуализация играет ключевую роль в управлении ресурсами высоконагруженных систем. Виртуализация ресурсов обеспечивает гибкость, масштабируемость и изоляцию в ИТ-инфраструктурах, позволяя предприятиям эффективно распределять и использовать физические и вычислительные ресурсы.

Производительность системы в контексте виртуализации часто оценивается по таким параметрам, как время отклика, пропускная способность и использование ресурсов. Исследования показывают, что хотя виртуализация может вносить накладные расходы из-за дополнительного слоя абстракции, современные технологии и оптимизации могут значительно снизить эти затраты [1].

Надежность системы связана с её способностью поддерживать стабильную и безошибочную работу в течение длительного периода времени. Виртуализация может улучшить надежность за счёт изоляции ресурсов и создания независимых виртуальных машин, которые не влияют друг на друга при сбоях. Тем не менее, сложность управления и мониторинга виртуализированных сред также может внести потенциальные риски для надежности [2].

Для оценки влияния виртуализации на производительность и надежность систем, мы разработаем контролируемую экспериментальную среду, используя комбинацию аппаратных и программных ресурсов. Эксперименты будут проведены на серверах с высокой производительностью, использующих различные технологии виртуализации, такие как *VMware*, *Xen*, и *KVM*. Опираясь на исследование [3], мы используем статистические гарантии производительности для оценки надежности системы.

Производительность будет измеряться с помощью метрик, таких как пропускная способность, время отклика и эффективность использования ресурсов. Надежность будет оцениваться через анализ времени безотказной

работы, частоты сбоев и способности системы к восстановлению после сбоев. Методы, предложенные в статье [4], будут использоваться для анализа безопасности и надежности виртуализированных систем.

На рис. 1 представлены результаты для *VMware*, демонстрирующие стабильную пропускную способность с минимальными колебаниями, а также относительно низкое время отклика и низкую частоту сбоев. Это указывает на высокую эффективность и надежность данной технологии виртуализации в обрабатываемых сценариях.

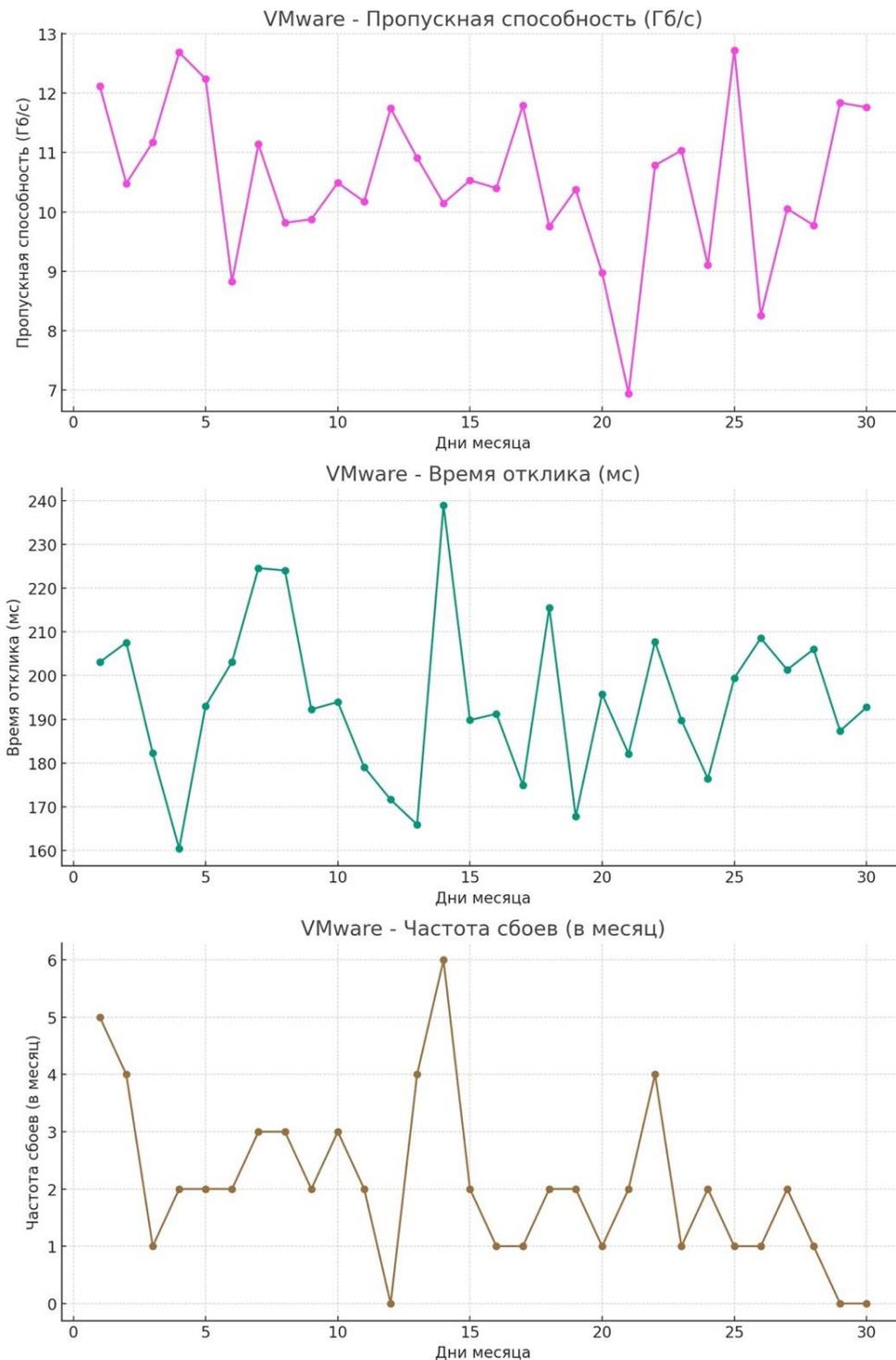


Рис. 1. Результаты *VMware*

Рис. 2 иллюстрирует данные для технологии *Xen*, показывая большую вариативность в пропускной способности и более высокое время отклика по сравнению с *VMware*. Также наблюдается увеличение частоты сбоев, что может свидетельствовать о меньшей стабильности этой технологии в определенных условиях эксплуатации.

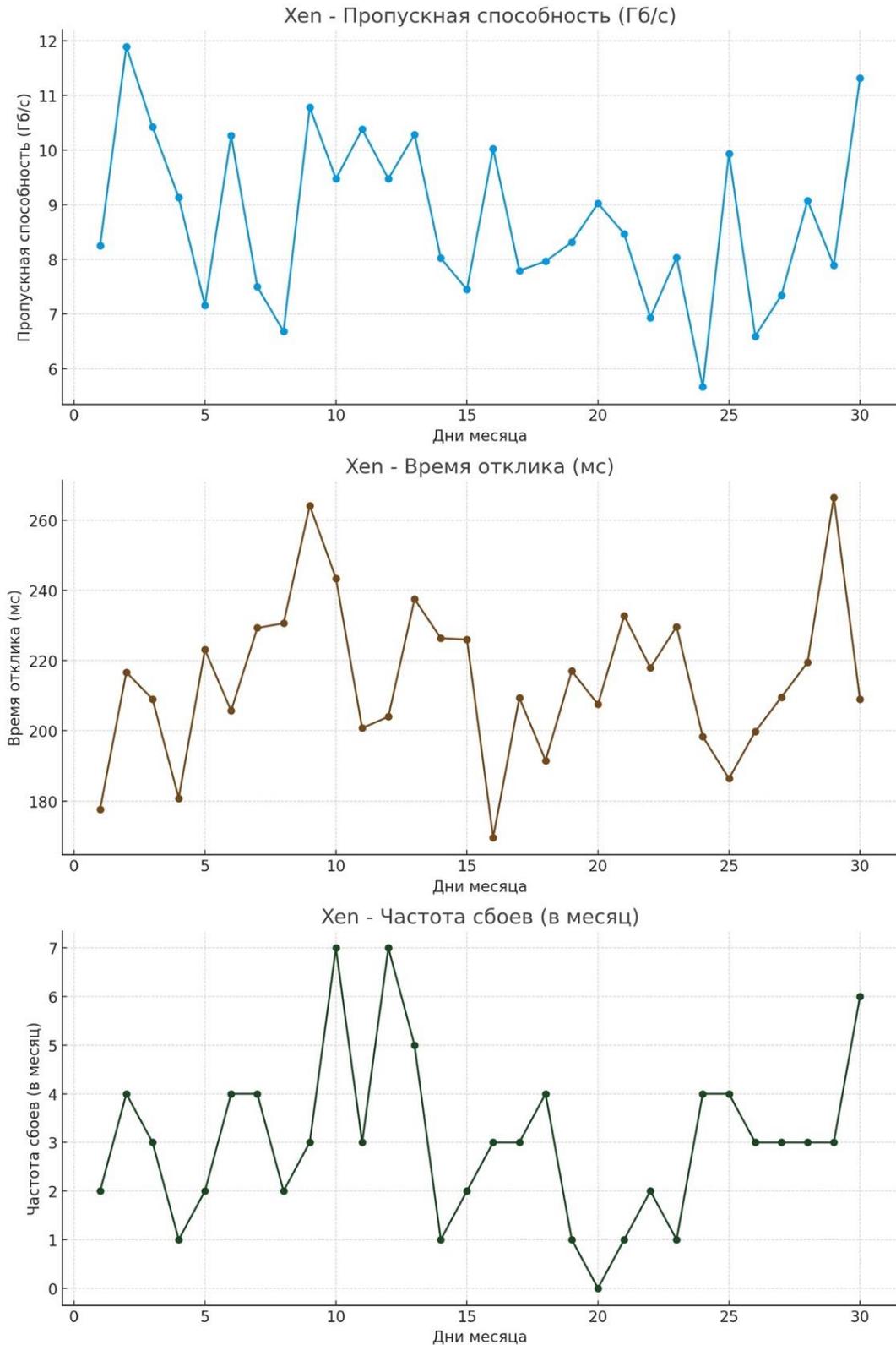


Рис. 2. Результаты для Xen

На рис. 3 показаны результаты для *KVM*, которые выявляют наилучшую пропускную способность и самое низкое время отклика среди рассматриваемых технологий. Частота сбоев также оказалась наименьшей, что делает *KVM* предпочтительным выбором для сценариев, требующих высокой производительности и надежности.

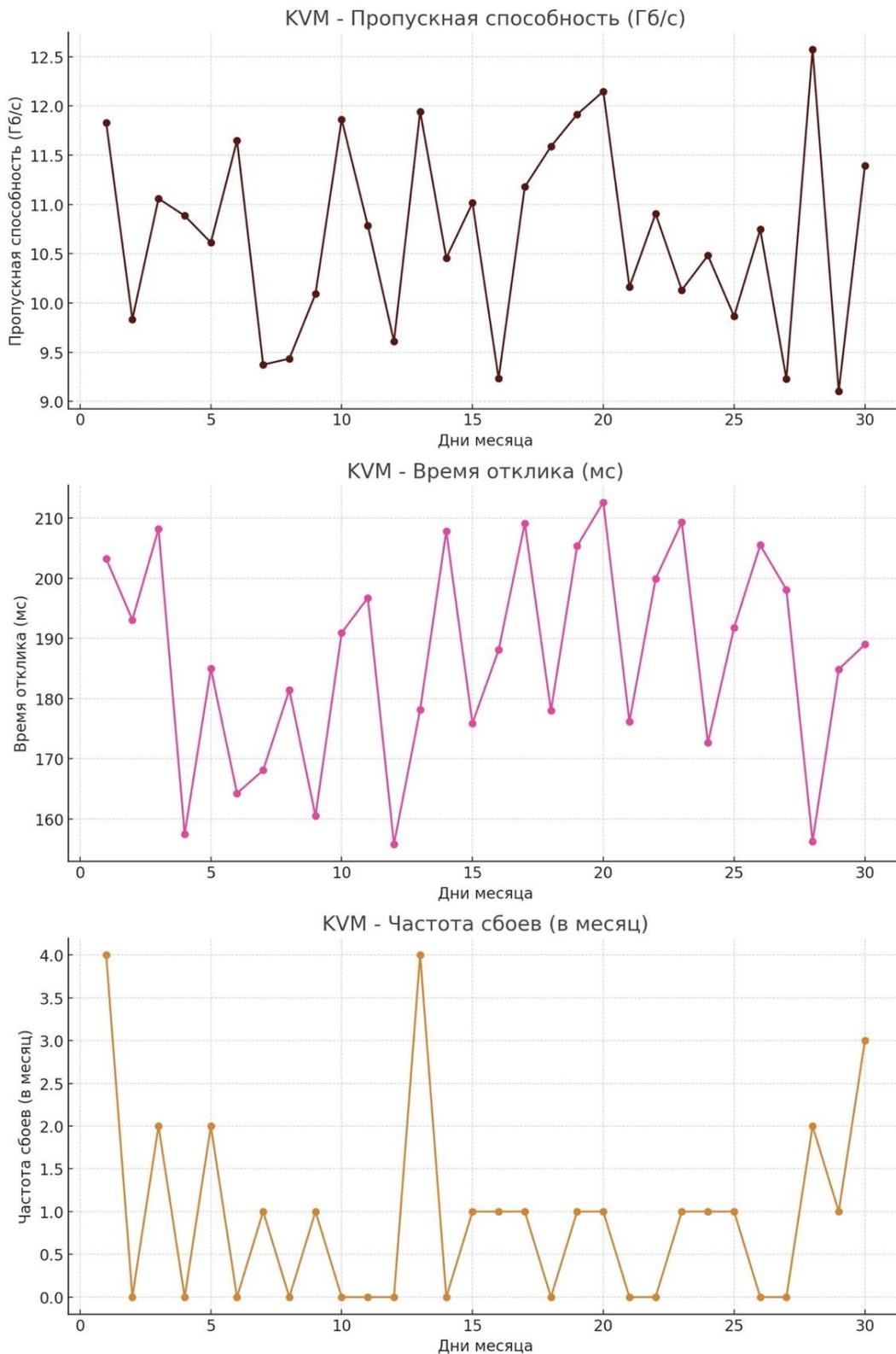


Рис. 3. Результаты для *KVM*

Статистический анализ показывает, что виртуализация имеет значимое влияние на производительность системы, но вариативность влияния зависит от выбранной технологии виртуализации и типа рабочей нагрузки. Анализ данных подтвердил, что определенные конфигурации виртуализации могут значительно улучшить производительность и надежность системы, в то время как другие могут ухудшить эти показатели.

Полученные данные подтверждают, что виртуализация значительно влияет на производительность и надежность высоконагруженных систем. В частности, мы наблюдаем, что оптимизированные настройки виртуализации могут значительно повысить пропускную способность и снизить время отклика, что согласуется с результатами, полученными в предыдущих исследованиях, таких как работа [1], где обсуждалось влияние различных технологий виртуализации на производительность.

Тем не менее, результаты также показывают, что не все конфигурации виртуализации оказывают положительное воздействие. Некоторые конфигурации могут приводить к увеличению частоты сбоев и уменьшению времени безотказной работы, что указывает на потребность в дополнительных исследованиях для определения оптимальных параметров виртуализации для различных типов нагрузок и условий эксплуатации.

Заключение. В ходе данного исследования было изучено влияние виртуализации ресурсов на производительность и надежность высоконагруженных систем. Результаты экспериментов показали, что правильно настроенная виртуализация способна значительно улучшить производительность систем, сокращая время отклика и повышая пропускную способность. Однако было также обнаружено, что неправильная конфигурация может привести к увеличению частоты сбоев и снижению общей надежности системы.

Полученные данные подчеркивают важность тщательного планирования и испытаний при внедрении виртуализации в критически важные системы. Результаты исследования могут быть использованы для разработки рекомендаций по оптимизации конфигураций виртуализации, что сделает возможным улучшение производительности и надежности без дополнительных затрат на оборудование.

Список источников

1. Shirinbab S. Performance Implications of Virtualization, PhD dissertation, Blekinge Tekniska Högskola, Karlskrona, 2019.
2. Gavrilovska, Ada, et al. High-performance hypervisor architectures: Virtualization in hpc systems. Workshop on system-level virtualization for HPC (HPCVirt). 2007.
3. Chambliss D.D. et al. Performance virtualization for large-scale storage systems, 22nd International Symposium on Reliable Distributed Systems, 2003. Proceedings, Florence, 2003, pp. 109-118, doi: 10.1109/RELDIS.2003.1238060.
4. Vallee G., Naughton T., Engelmann C., Ong H., Scott S.L. System-Level Virtualization for High Performance Computing, 16th Euromicro Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing (PDP 2008), Toulouse, France, 2008, Pp. 636–643, doi: 10.1109/PDP.2008.85.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

А.Н. Панфилов, Н.О. Смык

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Приводится анализ эффективности применения генетических алгоритмов в автоматическом тестировании программного обеспечения. Сравнивались традиционные, автоматизированные и генетические методы тестирования. Результаты показали, что генетические алгоритмы обеспечивают значительное улучшение покрытия кода и увеличение количества обнаруженных ошибок, а также сокращение времени тестирования.

Ключевые слова: генетические алгоритмы, тестирование программного обеспечения, автоматизация тестирования, покрытие кода, обнаружение ошибок, оптимизация, эффективность

С ростом сложности программного обеспечения (ПО) и его широким применением в критически важных областях, таких как финансы, здравоохранение и транспорт, эффективность и надежность тестирования ПО становятся крайне важными. Традиционные методы тестирования могут быть времязатратными и часто не способны обеспечить необходимую覆盖率 тестами из-за ограниченных ресурсов и времени. В этом контексте, генетические алгоритмы (ГА), являясь частью эволюционных вычислений, предлагают мощный инструмент для автоматизации и оптимизации процессов тестирования ПО.

В контексте разработки ПО, генетические алгоритмы могут быть использованы для автоматизации и оптимизации тестирования, в частности для генерации и приоритизации тестовых случаев, что является критически важным для улучшения качества продукта и сокращения времени тестирования. Традиционные методы тестирования ПО, такие как ручное тестирование и использование статических тестовых наборов, часто ограничены в своей способности быстро адаптироваться к изменениям в спецификациях и требованиях. ГА предлагают динамичный и гибкий подход, способный эффективно находить критические ошибки и уязвимости в программном обеспечении.

Одной из ключевых задач, которую могут решать ГА в области тестирования ПО, является оптимизация процесса выбора тестовых случаев. Путем симуляции процесса естественного отбора ГА могут эффективно идентифицировать наиболее значимые и критичные тесты, что особенно важно в условиях ограниченного времени и ресурсов. Для эффективного применения генетических алгоритмов в тестировании программного обеспечения, необходимо разработать методику, которая учитывает специфику ПО и требования к тестированию.

Успешная методика должна включать следующие шаги [1]:

1. Определение функции приспособленности: Функция приспособленности должна корректно отражать качество тестового набора, оценивая, например, покрытие кода, обнаружение ошибок и стоимость выполнения тестов.

2. Инициализация начальной популяции: Начальная популяция тестовых случаев генерируется случайным образом или на основе существующих тестовых наборов.

3. Генетические операции: Процесс эволюции включает операции кроссовера (создание новых тестов путем комбинации элементов двух существующих тестов) и мутации (случайное изменение теста для исследования новых областей тестируемого пространства).

4. Отбор: Отбор лучших тестов для следующего поколения на основе их приспособленности.

5. Итерации: Процесс повторяется для множества поколений до достижения заданных критериев останова, таких как максимальное количество поколений или достижение заданного уровня покрытия кода.

Алгоритм тестирования, основанный на генетических алгоритмах, может быть реализован в несколько этапов [2]:

1. Кодирование тестов: Тесты кодируются в виде строк или бинарных векторов, где каждый элемент представляет определенный аспект или параметр теста.

2. Оценка эффективности: Каждый тест оценивается с помощью функции приспособленности, которая может включать метрики, такие как количество обнаруженных ошибок, время выполнения теста и степень покрытия кода.

3. Выбор и воспроизводство: Лучшие тесты выбираются для генерации нового поколения тестов с использованием генетических операторов.

4. Оптимизация: Процесс повторяется в течение множества итераций с целью улучшения качества тестового набора и максимизации покрытия тестами всех критически важных функций ПО.

Для проверки эффективности предложенной методики на базе генетических алгоритмов было проведено экспериментальное исследование. Эксперимент включал тестирование нескольких программных продуктов, представляющих различные типы ПО, включая клиент-серверные приложения, веб-сервисы и мобильные приложения. Каждый программный продукт тестировался в трех различных конфигурациях: с использованием традиционных методов тестирования, с использованием стандартных подходов автоматизации тестирования и с применением разработанной методики на основе генетических алгоритмов.

Ключевыми параметрами оценки эффективности методики являлись:

- покрытие кода;
- количество обнаруженных ошибок;
- время, необходимое для проведения тестирования.

Результаты эксперимента показали, что методика на базе генетических алгоритмов обеспечивает значительно лучшее покрытие кода в сравнении с традиционными методами. Среднее увеличение покрытия составило около 15–20 % (рис. 1). Также было замечено, что количество обнаруженных ошибок увеличилось на 10–15 % по сравнению с традиционными и стандартными методами автоматизации, что указывает на более высокую эффективность генетических алгоритмов в обнаружении потенциальных дефектов (рис. 2).

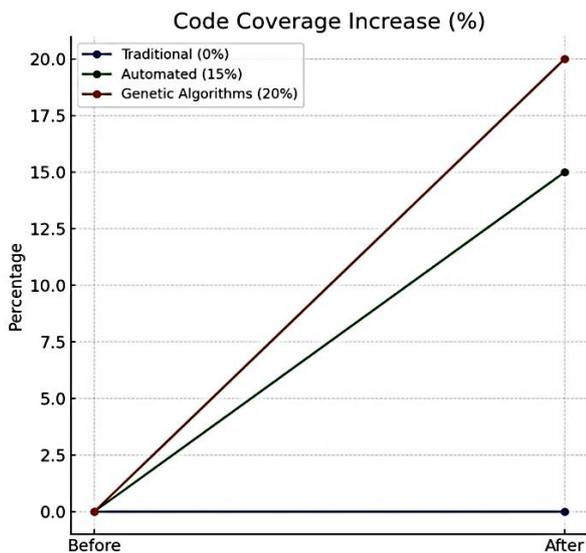


Рис. 1. Результат увеличения покрытия кода

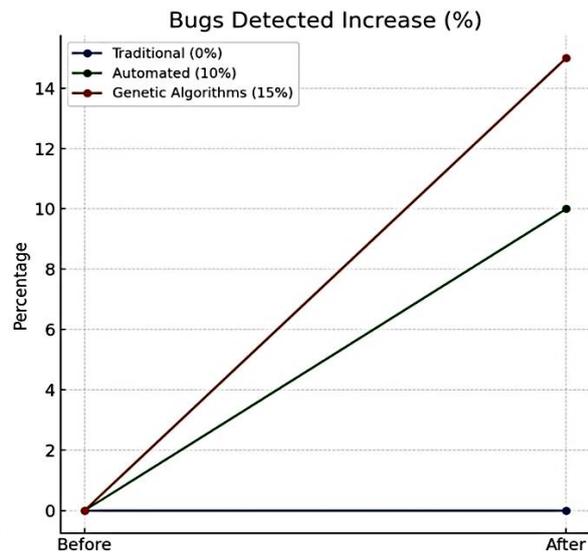


Рис. 2. Результат количества обнаруженных ошибок

Кроме того, хотя время настройки и подготовки тестовых наборов с использованием генетических алгоритмов было дольше, общее время тестирования уменьшилось благодаря оптимизации выбора тестовых случаев, что позволило сократить время выполнения тестов на 25–30 %. Результат представлен на рис. 3.

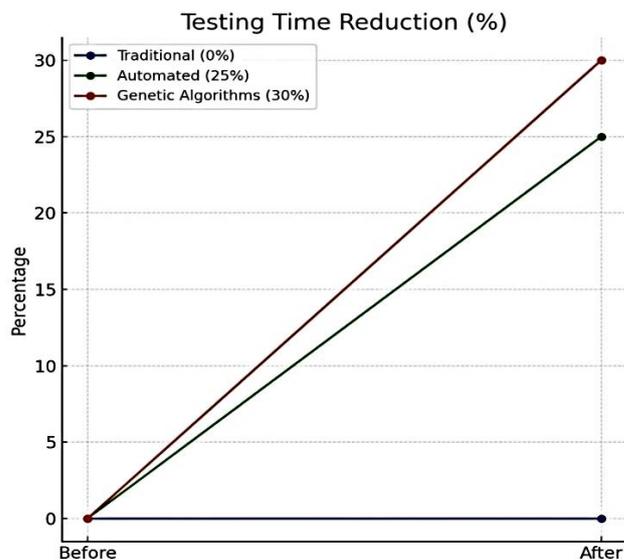


Рис. 3. Результат сокращения времени выполнения

Эти результаты подтверждают выводы исследования [3], которое также отмечает повышение эффективности тестирования за счет применения генетических алгоритмов.

Сравнивая полученные данные с результатами, полученными при использовании традиционных методов тестирования, становится очевидно, что генетические алгоритмы полезны в тестировании программного обеспечения, особенно в генерации тестовых случаев [4]. Генетические алгоритмы позволяют не только улучшить качество тестирования за счет более глубокого и полного покрытия кода, но и сократить общее время тестирования, что критически важно в условиях ограниченных временных рамок разработки ПО.

Заключение. В результате проведенного экспериментального исследования было установлено, что методы тестирования программного обеспечения на основе генетических алгоритмов демонстрируют значительные преимущества по сравнению с традиционными и автоматизированными подходами. Генетические алгоритмы позволили достичь более высокого покрытия кода и обнаружить большее количество ошибок, что подтверждает их эффективность в улучшении качества тестирования программного обеспечения. Кроме того, оптимизация процесса выбора тестовых случаев с помощью генетических алгоритмов привела к сокращению времени тестирования на 25–30 %, что значительно повышает эффективность разработки ПО.

Список источников

1. Srivastava, Praveen Ranjan, and Tai-hoon Kim. Application of genetic algorithm in software testing. *International Journal of software Engineering and its Applications* 3.4 (2009):87-96.
2. Singh, Kulvinder, and Rakesh Kumar. Optimization of functional testing using Genetic algorithms. *International Journal of Innovation, Management and Technology* 1.1 (2010):43.
3. Chayanika Sharma, Sangeeta Sabharwal, Ritu Sibal. A survey on software testing techniques using genetic algorithm. *International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 10, Issue 1, No 1, January 2013:381-393.
4. Berndt D.J., Watkins A. High Volume Software Testing using Genetic Algorithms, *Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, Big Island, HI, USA. 2005. Pp. 318b–318b, doi: 10.1109/HICSS.2005.296.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА СЕЛЕКТИВНОГО МОНТАЖА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ *NATIONAL INSTRUMENTS*

О.Р. Сторчак, М.Л. Логанчук, С.М. Логанчук

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассматриваются особенности построения системы технического зрения с использованием продуктов компании *National Instruments (NI)*. В статье приведены результаты анализа изображения с использованием различных алгоритмов поиска фрагментов по шаблону.

Ключевые слова: шаблон, качество пайки, эталонный образец, машинное зрение

Техническое зрение является важной областью искусственного интеллекта, которая находит широкое применение в различных направлениях промышленности [1]. Одной из таких областей является контроль качества процесса пайки в производстве электронных компонентов.

Селективная пайка является технологией автоматизированной пайки выводов штыревых элементов посредством миниволны.

Обычно, контроль качества паек выполняется с помощью визуального осмотра. Однако, такой подход имеет ряд недостатков, включая вероятность человеческой ошибки и субъективный фактор. Кроме того, в производстве часто требуется высокая скорость контроля, которую трудно достичь при использовании только человеческого восприятия. В связи с этим, разработка автоматической системы проверки пайки с использованием технического зрения стала актуальной задачей в промышленности.

Пока нет единого математического формализма и единой общепризнанной методики разработки алгоритмов анализа изображений. Разработка и использование методик эффективного решения задач обнаружения соответствующих объектов на изображении в большей степени основывается на особенностях и опыте решения конкретных задач [2].

Для разработки систем технического зрения на базе *National Instruments (NI)* требуется среда проектирования для создания соответствующего приложения. Такой средой является, например, графическая среда проектирования *LabVIEW* – мощный инструмент для разработки гибких и масштабируемых приложений.

Основываясь на статистической информации изображений, система технического зрения может принимать решения в различных задачах инспектирования и контроля качества исследуемых объектов в автоматизированном режиме. К задачам подобного рода относится, в том числе, обнаружение дефектов пайки путем сравнения с образцом.

Многие задачи распознавания объектов, решаемые с использованием инструментария *Vision NI*, могут быть реализованы с применением функционала *Pattern Matching* – распознавание по шаблону или сопоставление с образцом.

Сопоставление с образцом определяет местоположение областей изображения в градациях серого, которые соответствуют подходящему образцу, рассматриваемому в качестве шаблона. При использовании сопоставления с образцом можно создать шаблон, представляющий искомый объект, а именно эталонный образец качественной пайки. Создание модели эталонного образца пайки описывалось в работе [3].

Приложение машинного зрения ищет экземпляры шаблона в каждом полученном изображении, считая каждое совпадение. Сопоставление с образцом предоставляет приложению в качестве выходных данных количество экземпляров (совпавших объектов с шаблоном) и координаты размещения объектов, совпавших с шаблоном в пределах данного изображения [4].

В *NI Vision* применяются два метода распознавания образцов по шаблону – пирамидальное сопоставление и распознавание изображения при небольшом различии образцов. В обоих методах в качестве базовой технологии используется нормированная взаимно корреляционная функция.

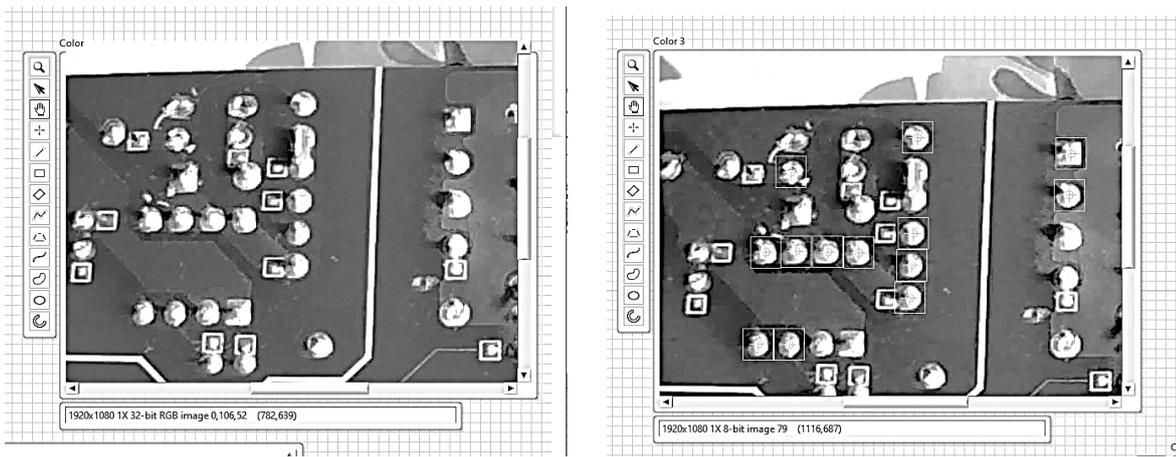
Пирамидальное сопоставление фактически разделяется на два метода: *Grayscale Value Piramid* (метод значений серого) и *Gradient Piramid* (метод градиентов).

Grayscale Value Piramid использует нормированные пиксельные значения серого, как функции [4]. При использовании этого метода поиск совпадения существенно зависит от равномерности освещения.

На рис. 1 приведен пример распознавания качественных паяных соединений с помощью алгоритма *Grayscale Value Piramid*. В качестве исходного изображения использовалась фотография печатной платы. В качестве эталонного образца был использован фрагмент изображения с этой же фотографии. Паяные соединения, распознанные как качественные, выделены на изображении тонкими светлыми квадратами (в среде *LabVIEW* результат выделяется красным цветом).

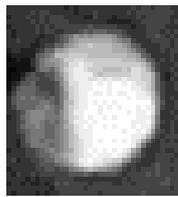
На рис. 2 приведен пример распознавания качественных паяных соединений с помощью алгоритма *Gradient Piramid*. В качестве исходного изображения использовалась та же фотография печатной платы, что и в предыдущем примере. В качестве эталонного образца был использован фрагмент изображения с этой же фотографии (тот же, что в предыдущем примере).

Поскольку данный метод использует выделение контура эталонного изображения, то часть элементов, имеющих неровные контуры не были распознаны, как эталонные. В частности, элемент, имеющий переемычку с соседним (в отличие от предыдущего метода) проверку не прошел.



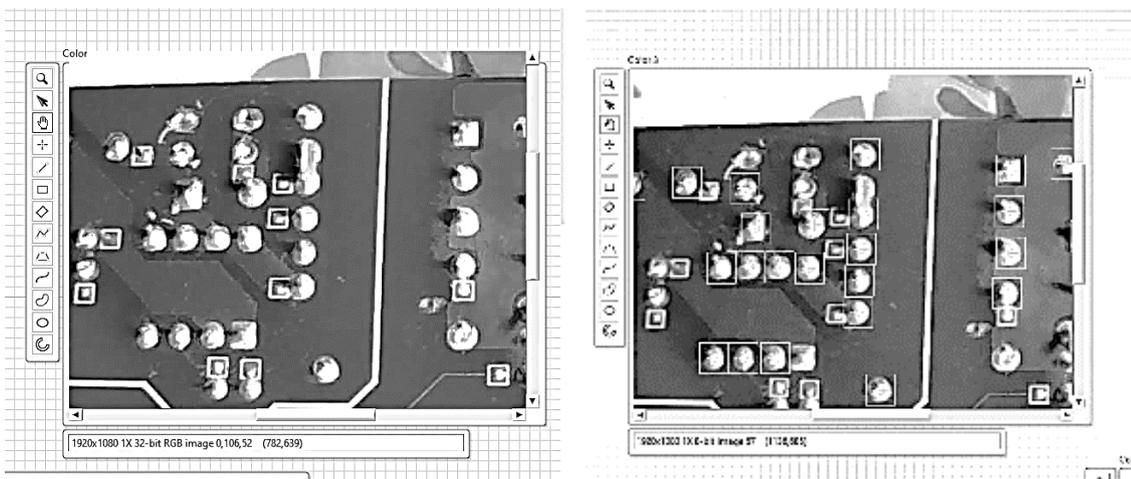
исходное изображение

результат распознавания



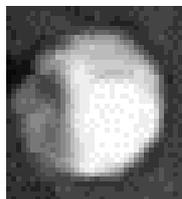
шаблон

Рис. 1. Распознавания качественных паяных соединений с помощью алгоритма *Grayscale Value Pyramid*



исходное изображение

результат распознавания



шаблон

Рис. 2. Распознавания качественных паяных соединений с помощью алгоритма *Gradient Pyramid*

Существенным недостатком данных методов распознавания является их нечувствительность к масштабируемости изображения. То есть при наличии на плате паяных соединений разного размера, необходимо иметь несколько шаблонов разного размера и осуществлять последовательно поиск каждого из них на изображении.

Дальнейшим развитием данного метода анализа качества пайки может стать алгоритм выделения бракованных паяных соединений. Для выявления брака достаточно иметь представление об общем количестве паяных соединений и количестве обнаруженных качественных паек. Тогда разность между этими множествами и будет набором некачественных соединений. Для выделения множества мест пайки может быть использован метод бинаризации изображения, который позволяет получить двухцветное изображение.

По результатам проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Технологии *National Instruments* позволяют осуществить распознавание элементов качественной пайки по шаблону (образцу) с помощью инструментария *Vision NI*. Однако данный инструмент не предоставляет возможности более глубокой настройки в соответствии со спецификой решаемой задачи.

2. Алгоритм распознавания *Gradient Pyramid* позволяет с большей точностью определить качественные паяные соединения за счет выделения контура объекта.

3. При использовании алгоритмов распознавания *Vision NI* для качественного распознавания необходима предварительная настройка (шаблон должен быть вырезан из этого же изображения). Что в большинстве случаев может являться недостатком данной технологии.

4. При наличии на плате паяных соединений разного размера, необходимо иметь несколько шаблонов разного размера и осуществлять последовательно поиск каждого из них на изображении.

5. Качество распознавания зависит от освещения в процессе получения изображения. Для более качественного распознавания желательно иметь дополнительную подсветку для получения бестеневого изображения.

Список источников

1. Техническое зрение // URL: <https://www.mallemon.ru/company/publications/319/> (дата обращения 10.04.2024)

2. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, В.А. Князь и др. М.: ДМК Пресс, 2007. 464 с.

3. Сторчак О.Р., Логанчук С.М., Логанчук М.Л., Усачев С.Я. Построение модели эталонного паяного соединения для автоматизации контроля качества пайки после селективного монтажа // Интеллектуальные технологии в науке и образовании: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 24-25 ноября 2023 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова. Новочеркасск: Лик, 2023. С. 126–130.

4. Системы технического зрения: учеб.-метод. пособие / И.И. Фролов, М.М. Лукашевич, А.Л. Яночкин. Минск: БГУИР, 2016. 70 с.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ В ОЦЕНКЕ СТОИМОСТИ ФИНАНСОВЫХ РЫНКОВ. ОБЗОР И ПЕРСПЕКТИВЫ

К.В. Тартанов

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассматривается роль финансовых рынков в современной экономике и значимость оценки их стоимости для принятия инвестиционных решений. В контексте быстро изменяющейся финансовой сферы и современных технологий стало возможно применение нейросетей как инструмента для обработки больших объемов данных. Уникальные возможности нейросетей, позволяющие выявить скрытые закономерности и строить прогнозы, делают их важным инструментом в оценке финансовых рынков. Также в статье рассмотрены преимущества и недостатки такого метода в данной области и представлен пример его применения в анализе финансовых данных. Сделан вывод об использовании нейросетей в оценке финансовых рынков и об перспективах развития этого метода в будущем.

Ключевые слова: экономика, нейросети, финансовые рынки, машинное обучение, искусственный интеллект

В настоящее время финансовые рынки играют настолько важную роль в экономике, что их значение трудно переоценить. Они влияют на перераспределение, сбережение и мобилизацию капитала, распределение рисков и инвестиции, в связи с этим оценка стоимости финансовых рынков является ключевым аспектом для инвестиционных решений. Финансовый рынок – это место, где покупатели и продавцы торгуют финансовыми активами, такими как: акции, облигации, деривативы и паи инвестиционных фондов. Для того чтобы зарабатывать деньги на финансовом рынке, необходимо инвестировать в различные активы и получать доход от изменения их котировок, дивидендов и купонов. Для этого необходимо выбирать подходящие финансовые инструменты, анализировать риски и формулировать инвестиционные стратегии.

Применение нейросетей в финансовой сфере дает целый ряд преимуществ, так как с их помощью можно быстро обрабатывать большие объемы разнообразных данных. Это возможно потому, что фундаментом нейросетей являются математические модели, но, что очень важно, в основе этих математических моделей лежат принципы работы человеческого мозга. На рис. 1 представлена схема работы нейросети. Таким образом, анализируя большие объёмы данных, можно выявлять определенные закономерности и строить прогнозы будущих событий, например, давать оценку стоимости акций, облигаций, валют и других инструментов финансового рынка. Применение нейросетей позволяет учитывать множество очень сложных факторов, таких как макроэкономические показатели, новости рынка, поведение конкурентов и т.д. К тому же нейросети могут быть «обучены» на основе исторических данных и рыночных тенденций, что придаст их прогнозам ещё большую объективность.

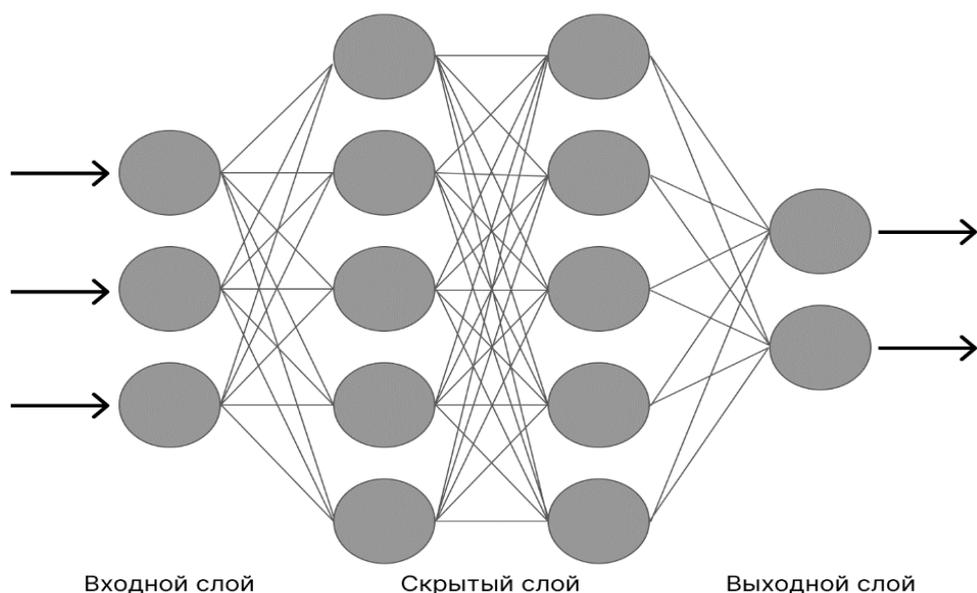


Рис. 1. Схема работы нейросети

Рассмотрим применение возможностей нейросетей в оценке стоимости финансовых рынков, проанализируем их преимущества и недостатки и таким образом увидим перспективы развития этого метода.

Самый распространённый метод использования нейросетей в оценке стоимости финансовых рынков – это создание нескольких нейронных сетей для разных целей и использование ручного анализа для разработки торговых стратегий на основе прогноза каждой сети и их отношения к общей стратегии.

Рассмотрим пример использования нейросети для оценки финансовых рынков. Существуют несколько нейросетей, которые анализируют исторические данные о финансовых рынках, такие как курсы валют, цены на акции и другие финансовые показатели. Используя алгоритмы машинного обучения и большие объёмы исторических данных, получаем обширный анализ данных, на основе которого можно построить прогноз. Данные нейросети состоят из нескольких модулей, каждый из которых отвечает за конкретный финансовый инструмент. Например, для предсказания курса валют используется модуль, который анализирует экономические и политические события, влияющие на курс, а также данные о торговле на валютных рынках.

Благодаря высокой точности прогнозирования и использованию сложных алгоритмов машинного обучения, нейросеть помогает инвесторам, трейдерам и аналитикам принимать более обоснованные инвестиционные решения. Однако в применении нейросетей есть некоторые недостатки. Например, полученные результаты могут оказаться сложными для понимания, особенно для непрофессионалов. Также нейросеть может дать неверный результат, работая с новыми данными или в условиях нестабильного рынка: машины не способны ориентироваться в нестандартных ситуациях и нуждаются в обучении на исторических моделях. Поэтому для получения

результата особенно важно качество вводимых данных. Собирать и обрабатывать данные нужно правильно. Кроме того, эмоции и человеческий фактор всё ещё играют важную роль в принятии инвестиционных решений.

В будущем ожидается только дальнейшее развитие в области применения нейросетей в оценке финансовых рынков. Это связано с увеличением объема доступных данных, с развитием технологий машинного обучения и с появлением новых методов анализа.

Применение нейросетей в оценке финансовых рынков окажет значительное влияние на будущее отрасли. Эти технологии позволят повысить эффективность, расширить масштабы операций, автоматизировать процессы и эффективно управлять рисками. Искусственный интеллект уже сейчас повышает точность, скорость и эффективность операций и увеличивает прибыль участников финансового рынка. В свою очередь требования к способностям участников также возрастают. Финансовые организации подсчитали, что эффект от использования искусственного интеллекта в 2018 году составил 41,1 миллиарда долларов США, и прогнозируют, что к 2030 году он вырастет до 300 миллиардов долларов США. Также нейросети используются для решения различных задач, включая прогнозирование поведения потребителей и рынка, поиск аномалий, снижение операционных рисков и повышение скорости транзакций.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ В УСЛОВИЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, МИНИАТЮРИЗАЦИИ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

К.М. Широков, Д.В. Шайхутдинов

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Предлагается использовать математическую обработку для повышения точности оценки петли магнитного гистерезиса, что актуально при исследовании новых ферромагнитных материалов, ферромагнетиков, извлекаемых из отходов производства, а также в условиях миниатюризации изделий.

Ключевые слова: электромагнит, контроль электромагнитов, магнитные характеристики

Использование новых ферромагнитных материалов, ферромагнетиков, извлекаемых из отходов производства, а также тенденции миниатюризации изделий из них требуют совершенствования средств контроля магнитных свойств. К одной из основных и наиболее сложных с точки зрения контроля характеристик материалов данного типа относится петля магнитного гистерезиса. Сложность конструкций электромагнитных изделий предъявляют все более высокие требования к качеству их комплектующих деталей. Кроме того, работа изделий, например, электромагнитов (ЭМ) на пределе возможностей повышает энергетическую эффективность, экологичность.

Сложность задачи контроля ЭМ по магнитным характеристикам состоит в том, что их наиболее информативные характеристики невозможно точно определить без внедрения в конструкцию специальных измерительных преобразователей, что в большинстве случаев производителями не предусмотрено, противоречит тенденции миниатюризации и ресурсосбережения и, следовательно, делает актуальным использование бессенсорных (или самосенсорных) методов контроля. Одним из перспективных и комплексных методов бессенсорного контроля и диагностики ЭМ постоянного тока является анализ их магнитных характеристик, позволяющий выявить неисправности электрической и механической частей ЭМ. Реализующие эти методы средства магнитного контроля относятся к косвенным и используют в расчетах значение активной составляющей сопротивления рабочей обмотки (АССО) [1]. Опыт использования данных методов показывает, что в процессе испытаний происходит нагрев и, как следствие, изменение АССО, обуславливающее недопустимую погрешность определения магнитного потока и как следствие – вебер-амперной характеристики (ВБАХ) ЭМ. Важной является задача исследования температурных процессов и разработка методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих бессенсорный магнитный контроль с высокой точностью [2,3].

При бессенсорном определении потокосцепления используется операция интегрирования, которая приводит к более интенсивному накапливанию постоянных составляющих погрешностей измеряемой величины, в отличие от переменных составляющих, которые носят случайный характер и определяются инструментальной погрешностью, различными наводками и помехами и учитываются при расчете инструментальной погрешности измерительных каналов при измерении магнитной характеристики. Из-за непостоянства данных величин, их тенденции менять знак, результирующее их влияние на погрешность интегрирования не является определяющей при использовании высокоточной современной элементной базы.

Постоянная составляющая погрешности усилительных каскадов на операционных усилителях главным образом определяется напряжением смещения вычитателя, находящего разность полного напряжения на обмотке и напряжения на активной составляющей ее сопротивления. Данная погрешность постоянно накапливается, что может приводить к огромной погрешности определения потокосцепления.

Вследствие относительного быстрого изменения магнитной характеристики напряжение смещения не успевает сильно измениться (для предварительно прогретого средства измерения), что позволяет производить перед каждым измерением магнитной характеристики определение напряжений смещения и прочие постоянные составляющие абсолютной аддитивной погрешности определения потокосцепления, то есть $\Delta u_{L=}$.

Авторами предлагается использовать математическую обработку для повышения точности полученной ВБАХ.

Зная суммарную погрешность определения потокосцепления, вызванную $\Delta u_{L=}$, можно определить ее часть, соответствующую каждому шагу измерения магнитной характеристики и произвести корректировку магнитной характеристики. Для чего целесообразно использовать свойство замкнутости петли гистерезиса, то есть $\psi_{m1} = \psi_{m2}$, где ψ_{m1} , ψ_{m2} – 1 и 2 значение потокосцепления насыщения, которое нарушается из-за различных погрешностей определения потокосцепления. Замыкание магнитной характеристики приводит не только к уменьшению погрешности определения вебер-амперной характеристики, но и придает ей правильный вид. На рис. 1 приведена ВБАХ кольцевого образца, полученная с помощью прибора *MagHyst* до и после ее замыкания.

Математическая компенсация погрешности определения потокосцепления, предлагаемая авторами, заключается в следующем:

1. Приращение абсолютной погрешности определения потокосцепления на каждом шаге определения магнитной характеристики:

$$\Delta \psi_{\Delta u_{L=}} = \frac{\Delta \psi_m}{N_m},$$

где $\Delta\psi_m = \psi_{m1} - \psi_{m2}$ – величина несходимости петли гистерезиса; N_m – количество измеренных точек, при определении магнитной характеристики до достижения ψ_{m2} .

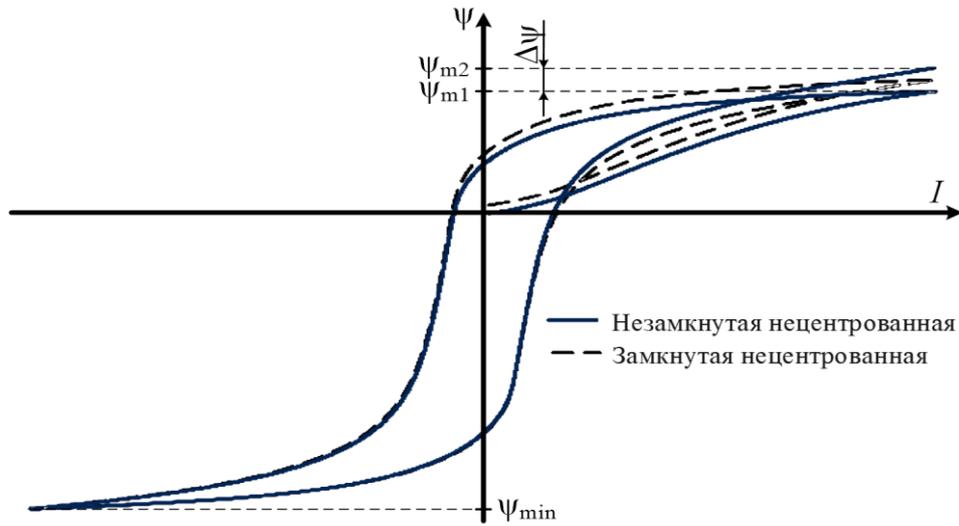


Рис. 1. Замыкание магнитной характеристики

2. Вычисляются значения скорректированного потокосцепления:

$$\psi_{k \text{ корр}} = \psi_k - \Delta\psi_{\Delta u_{L=}} \cdot k,$$

где $k = 1 \dots N$ – количество измеренных точек, при определении магнитной характеристики.

Другим вариантом уменьшения погрешности определения потокосцепления является пропорциональное замыкание магнитной характеристики, для чего осуществляется пропорциональный сдвиг начальной кривой намагничивания (НКН) и верхней части петли гистерезиса (ВЧПГ) вниз, а нижней половины петли гистерезиса (НЧПГ) – вверх, до совпадения ψ_{m1} и ψ_{m2} : $\psi_{k \text{ з.}} = \psi_{\min} + (\psi_k - \psi_{\min}) \cdot a$, где ψ_{\min} – отрицательное значение рассчитанного потокосцепления насыщения; ψ_k – значения потокосцепления при каждом k измерении; a – коэффициент, который определяется выражением:

$$a = \begin{cases} \frac{\psi_{m1} - \psi_{\min} - k_{\text{зам}} \cdot \Delta\psi_m}{\psi_{m1} - \psi_{\min}}, & \text{для начальной и нисходящей кривых,} \\ \frac{\psi_{m2} - \psi_{\min} + (1 - k_{\text{зам}}) \cdot \Delta\psi_m}{\psi_{m2} - \psi_{\min}}, & \text{для восходящей кривой,} \end{cases}$$

где $k_{\text{зам}} = 0 \div 1$ – коэффициент замыкания магнитной характеристики.

Коэффициент замыкания магнитной характеристики определяет какая часть (в долях от единицы) несходимости петли гистерезиса $\Delta\psi_m$ будет направлена на смещение ψ_{m1} , а соответственно НКН и ВЧПГ вниз, остальная часть будет направлена на пропорциональное смещение вверх НЧПГ.

Для измерения НКН необходима четверть периода питающего тока, а для измерения петли гистерезиса необходим период питающего тока, то есть время измерения НКН составляет 20 % основного времени измерения магнитной характеристики:

$$\frac{t_{\text{НКН}}}{t_{\text{НКН}} + t_{\text{ПГ}}} = \frac{0,25T}{0,25T + 1T} = 0,2,$$

где $t_{\text{НКН}}$ – время измерения НКН; $t_{\text{ПГ}}$ – время измерения петли гистерезиса (ВЧПГ и НЧПГ); T – период перемагничивающего тока.

Поэтому коэффициент может быть выбран $k_{\text{зам}} = 0,2$. Если природа возникновения несходимости точно не определена, то возможно лучше выбрать $k_{\text{зам}} = 0,5$ или вообще не выполнять замыкание петли гистерезиса.

Стоит отметить, что так как расхождение петли гистерезиса возможно также из-за влияния температурной погрешности, поэтому осуществлять замыкание магнитной характеристики стоит после компенсации температурной погрешности при необходимости таковой.

Целесообразно также проводить центрирование магнитной характеристики, что исключает влияние постоянной интегрирования при определении потокосцепления и также придает ей правильный вид. При операции центрирования обеспечивается равенство абсолютных значений потокосцеплений насыщения $|\psi_{m1}| = |\psi_{m2}|$. На рис. 2 приведена ВАХ кольцевого образца, полученная с помощью прибора *MagHyst* до и после центрирования.

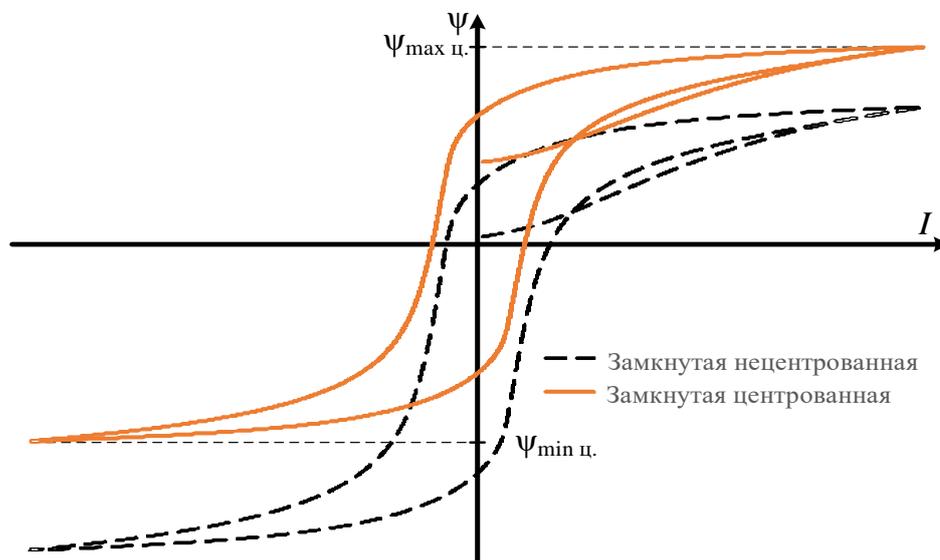


Рис. 2. Центрирование магнитной характеристики

Для анализа полученных результатов и исследования эффективности методов «графической» компенсации погрешности определения потокосцепления проведено моделирование в *МС-9*. Исследования показали, что операция замыкания ВБАХ уменьшила приведенную погрешность определения потокосцепления в несколько раз.

При преобладании постоянной составляющей погрешности более эффективно математическое замыкание. Графическое замыкание вместе с центрированием при выборе среднего коэффициента замыкания также подтвердило высокую эффективность. Графическое замыкание приводит к большой погрешности начальной кривой намагничивания, в отличие от математического замыкания.

При диагностике электротехнических изделий очень часто нужно измерить петлю гистерезиса, а не начальную кривую намагничивания, поэтому можно сделать вывод, что целесообразнее при разработке методов бессенсорного измерения вебер-амперных характеристик электромагнитов использовать математическое замыкание с коэффициентом замыкания 0,5-0,6 и центрированием.

Список источников

1. Комаров Е.В., Покровский А.Д., Шихин А.Я.; под ред. А. Я. Шихина Испытание магнитных материалов и систем. М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Широков К.М., Гречихин В.В. Исследование бессенсорных устройств определения магнитных характеристик для систем управления производством электромагнитов // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 6-6. С. 1173–1178; URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=34308> (дата обращения: 15.05.2024)
3. Устройство магнитного контроля для подсистемы управления производством электротехнических изделий / К.М. Широков, Д.В. Шайхутдинов, В.И. Дубров и др. // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=11665> (дата обращения: 15.05.2024).

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИГОДНОСТИ К *DLP-SLA* 3D-ПЕЧАТИ КЕРАМОПОЛНЕННЫХ УФ-ОТВЕРЖДАЕМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

А.В. Юдин^{1,2}, Б.М. Середин¹

¹Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск,

²Южный научный центр Российской академии наук, г. Ростов-на-Дону

Аннотация. Представлен способ оценки УФ-отверждаемых составов для пьезоэлектрической керамики на основе полимеров

Ключевые слова: пьезоэлектричество, композиты, метаматериалы, аддитивные технологии, фотополимеры, керамика на основе полимеров

Неразрушающий контроль материалов и конструкций с применением ультразвуковых пьезоэлектрических преобразователей является одной из общепризнанных техник структурного мониторинга, широко применяемых в различных сферах современной промышленности. В то же время, плавно идущая урбанизация планеты сопровождается ужесточением требований к экологической и инженерной безопасности продукции новых типов. Это определяет потребность в создании датчиков и преобразователей следующего поколения, которые будут отличаться от существующих аналогов повышенными эксплуатационными характеристиками и меньшей стоимостью.

Перспективными концепциями, получившими новый импульс развития благодаря появлению доступного оборудования для 3D-печати, в этой связи являются так называемые керамики на полимерной основе [1] и метаматериалы [2]. В первом случае речь идет о высокотемпературном синтезе пьезоэлектрических преобразователей из заготовок, предварительно отформованных одним из аддитивных способов, применяемых для термо- или реактопластов. Получаемые при этом метаматериальные структуры могут иметь сильно упорядоченную и неоднородную внутреннюю геометрию, состоящую из каналов, пустот и перемычек, что способно придать объекту физические свойства, в значительной степени отличные от сплошных тел.

Среди распространенных методов полимерной 3D-печати способ послойного отверждения УФ-чувствительных жидких смол является одним из наиболее производительных и высокоточных. За последние несколько лет издан ряд публикаций, нацеленных на создание керамонаполненных пьезоактивных составов, применимых для формообразования по *DLP* или *LCD-SLA* процессу.

Так, в [3,4] исследовательские группы изготовили композиции, содержащие 70 % по массе (30 об. %) добавки барий-титаната. Заготовки в виде цилиндров и сот были подвергнуты высокотемпературному синтезу при температурах 1300 и 1350 °С, а итоговые значения показателя d_{33} составили

200 и 60 пКл/Н соответственно. Процессы термической обработки проводились в вакууме и сопровождались выгоранием полимерной фракции, что привело к изменению объема образцов порядка 70 %.

В работе [5] рассмотрена комбинация фотополимера с порошками пьезоэлектрически активной системы ЦТС-19. Образцы в виде цилиндрических таблеток с толщиной 1,4 и 4,2 мм были изготовлены путем прессования состава, содержащего 95 % по массе твердой фракции с усилием 98 кПа и последующей обработкой УФ-излучением на протяжении двух часов. Даже без операций высокотемпературного спекания, образцы после поляризации электрическим полем с напряжением 10 кВ в среде растворителя CHCl_3 и последующей выдержки в 72 ч показали d_{33} в 32 пКл/н и 52 пКл/н для толщин 1,4 и 4,2 мм соответственно. В другой публикации [5] проведено исследование пригодности для 3D-печати полимерных керамонаполненных композиций, содержащих до 10 об. % добавки порошка системы ЦТС. Результаты показывают необходимость в длительной выдержке состава под действием УФ-излучения, а также его неспособность к гарантированному отверждению даже при таких незначительных концентрациях твердой фракции.

Столь значительный разброс в данных об эффективной концентрации добавки в составе УФ-отверждаемой смолы требует разработки универсальной методики, позволяющей проводить оценку состава на предмет технологической пригодности к 3D-печати по *DLP* технологии. При этом, учитывая дороговизну расходных материалов, особенностью разрабатываемого подхода должна стать максимально близкая к реальным условиям обработки схема процесса, требующая при этом минимальное количество расходного материала.

В рамках работы над исследованием была разработана такая технологическая цепочка, суть которой заключается в создании образцов путем последовательной засветки тонких слоев керамонаполненных полимерных композиций УФ-излучением, которые подвергаются в дальнейшем простому скотч-тесту на межслойную адгезию. В результате реализации методики с рядом коммерчески доступных фотополимеров обнаружено, что наибольшим потенциалом для введения твердых добавок обладают изначально прозрачные в видимом спектре составы. В совокупности с данными о пропускающей способности керамических пленок системы ЦТС и титаната бария, приведенных в работах [6,7], это позволяет предположить наличие зависимости между поглощающей способностью суспензии и ее технологической пригодностью для *DLP* 3D-печати.

В то время, как данное утверждение требует дальнейшего более детального исследования, разработанная методика демонстрирует значительное сходство результатов с реальным технологическим процессом аддитивного формования. Данные, полученные для керамонаполненной композиции с добавками ЦТС в значительной степени коррелируют со сведениями публикации [5]. Кроме того, выяснено, что эффективно пройти тест на межслойную адгезию способны только составы, содержащие 5 об. % твердой

фракции. При том, что для установки данного факта расход прекурсоров составил не более 20 г, может быть сформулирован важный вывод о невозможности применения системы ЦТС в качестве наполнителя УФ-отверждаемых смол, используемых в *DLP* технологии и планируемых в дальнейшем к обработке по концепции керамик на полимерной основе. Дальнейшее развитие работы сопряжено с исследованиями оптической проницаемости отвержденных и жидких составов, а также рассмотрением пьезоэлектрически активных аналогов, таких как титанат бария.

Список источников

1. Thomas Lacelle et al. Additive manufacturing of polymer derived ceramics: Materials, methods, and applications // *APL Materials*, 2023, 11, 070602, <https://doi.org/10.1063/5.0151661>
2. Aamer Nazir et al. Multi-material additive manufacturing: A systematic review of design, properties, applications, challenges, and 3D printing of materials and cellular metamaterials // *Materials & Design*, – 2023, 226, 111661, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.111661>
3. Anton Sotov et al. LCD-SLA 3D printing of BaTiO₃ piezoelectric ceramics // *Ceramics International*, 2021, 47, 30358–30366, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.07.216>
4. Yushun Zeng et al. 3D-Printing Piezoelectric Composite with Honeycomb Structure for Ultrasonic Devices // *Micromachines*, 2020, 11, 713, doi:10.3390/mi11080713
5. Юдин А.В. и др. Разработка технологии получения пьезоэлементов на основе фотополимерной смолы без стадии спекания // *Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование экосистем (Анализ современного состояния и перспективы развития): тру. Двенадцатого Междунар. междисциплинар. молодеж. симпозиума. 2023, Т. 2. С. 308–309.*
6. Sofia A.S. Rodrigues et al. Improvement of the fatigue and the ferroelectric properties of PZT films through a LSCO seed layer // *Materials Science and Engineering B*, – 2013, 178, 1224–1229, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mseb.2013.08.001>
7. Rouholah A. Development and investigation of novel nanoparticle embedded solutions with enhanced optical transparency // *Journal of Materials Research*. 2014, Vol. 29, No. 24, DOI: 10.1557/jmr.2014.351

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ИСТОЧНИК ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ НА ЭЛЕМЕНТАХ «ПЕЛЬТЬЕ» В СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ

И.А. Смыслов

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассматривается возможность использования элементов «Пельтье» в солнечных панелях для дополнительного источника энергии. Использование элементов «Пельтье» в солнечных панелях может помочь повысить энергетическую эффективность и улучшить производительность солнечных систем.

Ключевые слова: электрический ток, солнечная панель, элемент «Пельтье»

Введение. В современном мире, где энергетическая эффективность и устойчивость стали важными факторами, разработка [1] альтернативных источников энергии является актуальной задачей. Солнечная энергия, один из самых доступных источников возобновляемой энергии, привлекает все больше внимания. Однако, чтобы максимизировать выходную мощность солнечных панелей, необходимо решить проблему потерь тепла. В этой статье рассмотрим разработку и моделирование системы выработки электричества, которая использует элементы Пельтье для преобразования тепла из солнечных панелей в электрическую энергию.

Основная часть. Принцип работы элементов Пельтье: Элементы Пельтье [2], или термоэлектрические модули, основаны на явлении, известном как эффект Пельтье. Они состоят из двух различных полупроводников, соединенных между собой. Когда на модуль падает солнечное излучение [3], одна сторона нагревается, а другая остается прохладной. Это создает градиент температуры, который вызывает электрический потенциал и генерирует электрический ток.

Для повышения эффективности солнечных панелей, элементы Пельтье могут быть интегрированы непосредственно в структуру панели. Это позволяет использовать тепло [4], которое обычно теряется в процессе работы солнечных панелей, и преобразовывать его в электрическую энергию. Таким образом, общая эффективность системы выработки электричества может быть значительно повышена. На (рис. 1) представлено термоэлектрическое устройство с интеграцией элементов «Пельтье» в солнечную панель.

Элементы «Пельтье» в цепи соединены последовательно, количество элементов $N = 30$ шт.

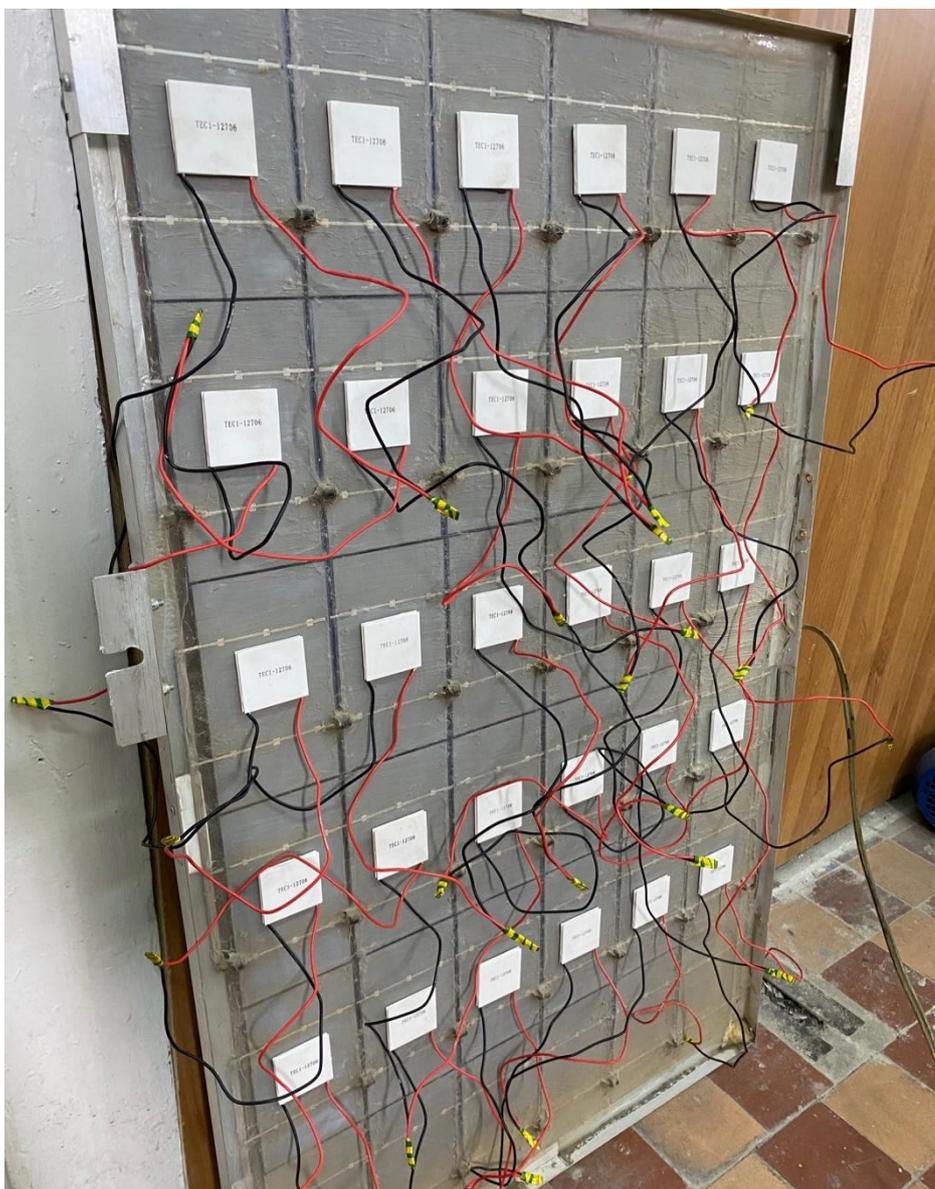


Рис. 1. Термоэлектрическая установка

Таблица 1 – Характеристики 1 элемента «Пельтье»

$U_1, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$P_1, \text{Вт}$
~ 2	1,2	2,4

При последовательном соединении элементов «Пельтье», напряжение будет суммироваться:

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n.$$

Общий ток, проходящий через каждый элемент «Пельтье», будет одинаковым и равен току, проходящему через всю цепь

$$I_{\text{общ}} = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n.$$

Общая мощность, вычисляется как сумма мощностей каждого элемента

$$P_{\text{общ}} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n.$$

Данная установка имеет определенную эффективность, представленную в (табл. 2), которая может быть улучшена с помощью оптимизации параметров и рабочих условий. Для достижения максимальной производительности необходимо доработать процесс охлаждения обратной стороны элементов «Пельтье». Интегрируя таким образом элементы «Пельтье» получен дополнительный источник энергии в солнечной панели, что позволяет увеличить общую энергетическую эффективность солнечных панелей.

Таблица 2 – Полученные данные термоэлектрической установки

№	Мощность нагрева, P , Вт	Ток элемента «Пельтье», I , А	Напряжение на элементе «Пельтье», U , В	Мощность элемента «Пельтье», P , Вт	$I_{\text{общ}}$, А	$U_{\text{общ}}$, В	$P_{\text{общ}}$, Вт
1	58,3	1,2	1,74	2,4	1,2	57,3	69,03
2		1,2	1,83	2,2			
3		1,2	1,97	2,36			
4		1,2	1,96	2,35			
5		1,2	1,97	2,36			
6		1,2	1,98	2,37			
7		1,2	1,99	2,38			
8		1,2	2	2,4			
9		1,2	2	2,4			
10		1,2	2	2,4			
11		1,2	2	2,4			
12		1,2	2	2,4			
13		1,2	2	2,4			
15		1,2	1,99	2,38			
16		1,2	1,98	2,38			
17		1,2	2	2,4			
18		1,2	2	2,4			
19		1,2	2	2,4			
20		1,2	2	2,4			
21		1,2	2	2,4			
22		1,2	2	2,4			
23		1,2	2	2,4			
24		1,2	2	2,4			
25		1,2	2	2,4			
26		1,2	2	2,4			
27		1,2	1,96	2,35			
28		1,2	1,97	2,36			
29		1,2	1,98	2,37			
30		1,2	1,98	2,37			

Термоэлектрические солнечные панели имеют преимущества в некоторых специальных условиях. Например, они могут использоваться в космической технике, где солнечное излучение является единственным доступным источником энергии, или в ситуациях, когда требуется надежная работа в экстремальных температурных условиях.

Список источников

1. Смыслов И.А. Разработка солнечной панели из монокристаллических солнечных элементов: сб. науч. статей научной школы «Зеленое будущее». Новочеркасск 28.05 – 02.06, 2023 года.
2. Зайцев А.А., Кузнецов Д.В., Сидоров А.В. Основы физики термоэлектричества: учебно-методическое пособие; Елецкий гос. ун-т им. И.А. Бунина. Елец: 2018.
3. Смыслов И.А. Увеличение КПД использования солнечной панели с помощью элемента «Пельтье»: сб. науч. статей Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. г. Невинномысск, 19-23 декабря 2022 г.
4. Энциклопедия Кольера URL:<https://rus-koler-enc.slovaronline.com/>

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЦЕСС ДЖИНИРОВАНИЕ ХЛОПКА-СЫРЦА

Н.В. Колиев

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Разработана и промоделирована система, учитывающая сложные зависимости технологического процесса дженирования хлопка-сырца с представленными параметрами.

Ключевые слова: дженирование, моделирование, технологический процесс, контроль, управление

Дженирование – отделение волокна от семян, является основной операцией в технологическом процессе первичной обработки хлопка, при которой из хлопка-сырца получают хлопковое волокно и хлопковые семена.

В процессе дженирования хлопка-сырца существует ряд параметров массы хлопка-сырца и технологического процесса, влияющих на количество и качество продукта на выходе. Для оценки соответствия процесса дженирования регламентным показателям было предложено оперировать параметром тока [1]. Это исходит из сложных зависимостей между промежуточными технологическими параметрами, определяющими качество конечного продукта.

Из основных зависимостей можно выделить:

- массу хлопка-сырца, подаваемую в джин;
- скорость вращения валов;
- сила прижатия основных работающих органов.

В работе приведена попытка моделирования системы с представленными параметрами (рис. 1).

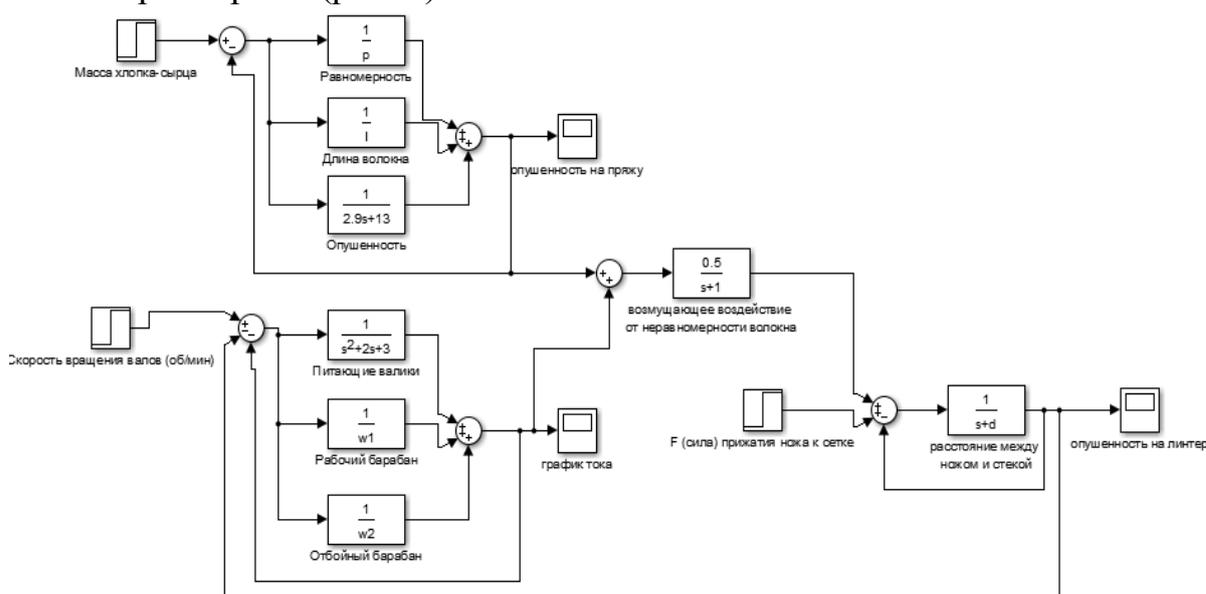


Рис. 1. Исследуемая экспериментальная модель процесса дженирования в *Simulink*

Построена схема, учитывающая сложные зависимости входных параметров от параметров, неподдающихся контролю на рассматриваемом технологическом этапе. Параметр массы m хлопка-сырца зависит от плотности материала на рабочих поверхностях ρ , от длины волокна l_b и от опущенности O . Параметр скорости вращения валов ω зависит от тока и механического сопротивления, создаваемого самой массы хлопка-сырца на валиках и ножах джина. Параметр силы прижатия зависит от расстояния между неподвижным ножом, просеивающей сетки и отбойного барабана.

В процессе джинирования волокно отрывается не равномерно, поэтому семена хлопка-сырца на выходе джин имеют опущенность порядка 10,5 % от начального значения (рис. 2). Семена, с которых волокно полностью снято проваливаются через отверстия сетки в сборный шнек и готовы к дальнейшей обработке, а семена с оставшимися прядками волокна протаскиваются игольчатым барабаном по сетке и вновь набрасываются на поверхность рабочего валика, для повторного процесса отделения волокна от семени.

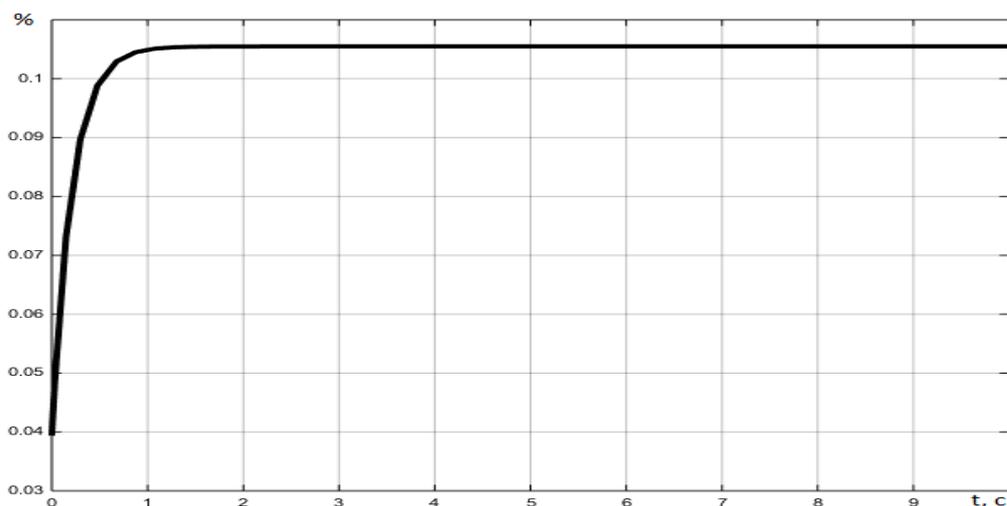


Рис. 2. График изменений степени опущенности семян хлопка в процессе обработки

Основными выходными продуктами валичного джинирования становится отделенное хлопковое волокно I (40–41 мм), II (38–39 мм) и III (37–38 мм) типа [2,3] и хлопковое семя с незначительной степенью опущенности 5,6 % (рис. 3) отправляемое на линтерование.

Для полного снятия пуха и достижения максимального результата, в дальнейшем проведем эксперимент по джинированию хлопка-сырца в два этапа. Первым этапом проведем процесс валичного джинирования для снятия длинного и качественного волокна, вторым этапом проведем процесс пильного джинирования для снятия остатков волокна низкого качества. Пильное джинирование дает волокно более низкого качества, так как в процессе волокно повреждается зубьями пил. Поэтому первым этапом будет именно валичное джинирование, как более щадящее по отношению к волокну [2].

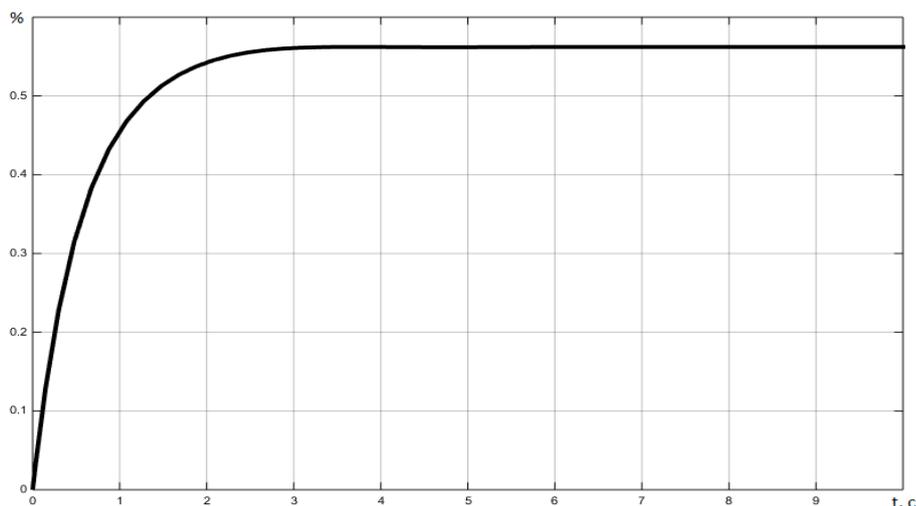


Рис. 3. График изменения степени опущенности семян хлопка в процессе обработки, отправляемых на следующий этап - линтерование

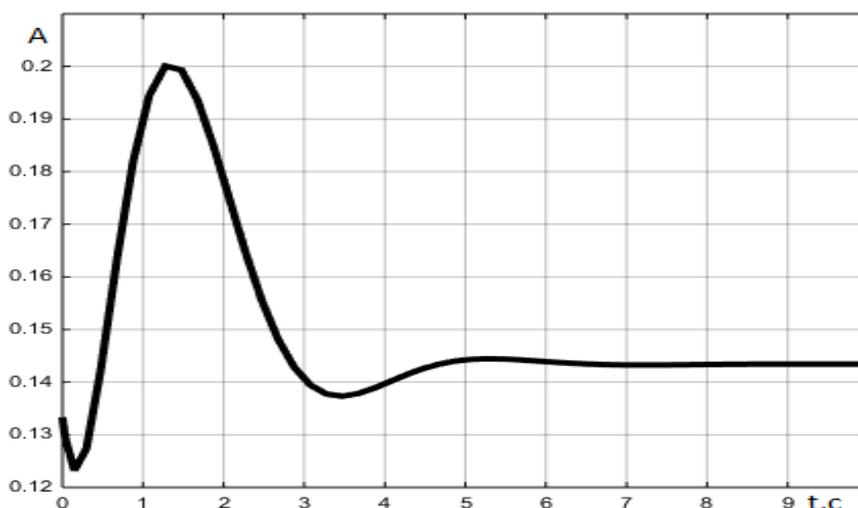


Рис. 4. График изменения тока ротора в процессе джинирования

На графике тока (рис. 4) видно, что в момент соприкосновения валков и хлопка-сырца ток в роторе имеет колебательный процесс с большим перерегулированием и в дальнейшем приходит к установившемуся значению, то есть имеет место сьем джина с постоянной интенсивностью.

Совершенствование процесса джинирования поможет улучшить процесс первичной обработки, увеличив показатель качества выходного материала за счет контроля процесса. Поэтому планируется проведение эксперимента по управлению параметрами, не поддающимся прямому контролю.

Список источников

1. Мирошничено Г.И. Оборудование и технология производства первичной обработки хлопка. М., 1980. 228 с.
2. Джаббаров Г.Д. Первичная обработка хлопка. М.: Легкая индустрия. 1978. 430 с.
3. Физические исследования по хлопку / Под ред. Е.Е. Петушкова. Ташкент, ИАН УзССР, 1962.149 с.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.В. Недовесов

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассматриваются основные достижения в области робототехники и ИИ в медицинской сфере.

Ключевые слова: автоматизация, роботизация, медицина, фармацевтика, искусственный интеллект

Введение. Прогресс в здравоохранении не стоит на месте. Стремительное развитие технологий преобразует медицину, равно как и иные отрасли человеческой деятельности. По мере того как население планеты продолжает стареть, а спрос на медицинские услуги растет, медицинские работники и учреждения сталкиваются с растущими проблемами. К ним относятся ограниченные ресурсы, растущие расходы и растущая потребность в персонализированном уходе.

Роботизация и автоматизация играют все более важную роль в медицине в эпоху, когда эффективность, точность и персонализированный уход выходят на первый план.

Инновации стимулируют эволюцию практики здравоохранения и формируют будущее отрасли, предлагая значительный потенциал для улучшения ухода за пациентами, оптимизации процессов и повышения общей эффективности.

ИИ и роботы трансформируют здравоохранение и медицину. ИИ помогает медицинским работникам принимать более эффективные решения, предоставляя им исчерпывающую и персонализированную информацию о каждом пациенте, что повышает эффективность лечения. ИИ и роботы автоматизируют рутинные задачи, повышая эффективность оказания медицинской помощи, помогая снизить затраты и улучшить уход за пациентами. [1]. Искусственный интеллект и суперкомпьютерные технологии используются для ускорения процесса разработки лекарств, что в будущем может привести к разработке новых и более эффективных методов лечения.

Роботизированная автоматизация процессов (RPA) в фармацевтике – еще одна область, где эти технологии оказывают значительное влияние. Программное обеспечение RPA автоматически выполняет ручные, повторяющиеся, трудоемкие и высокоструктурированные задачи, такие как ввод данных и функции бэк-офиса.

Роботизация фармацевтической индустрии. Инновационные роботизированные технологии все чаще внедряются в фармацевтическую промышленность и играют важную роль в повышении эффективности, точности и экономичности. Ниже представлены некоторые ключевые области

фармацевтики, в которых внедрение роботизированных технологий наиболее заметно или перспективно:

- автоматизация производственных процессов;
- автоматизированные системы смешивания и дозирования;
- упаковка и маркировка;
- складские операции;
- высокоскоростная сортировка и анализ;
- роботизированные системы контроля качества;
- 3D-печать лекарств.

Эти примеры роботизированных технологий в области производства лекарственных средств иллюстрируют потенциал автоматизации и внедрения новейших технологий [2,3].

Отдельно стоит остановиться на вопросе 3D-печати в области производства лекарств. Эта технология позволяет создавать объекты на основе цифрового дизайна слой за слоем с использованием различных материалов, таких как полимеры, металлы и керамика.

В фармацевтической промышленности 3D-печать обладает рядом преимуществ и потенциальных применений:

- персонализированная медицина;
- сложные лекарственные формы;
- быстрое прототипирование и разработка;
- сокращение отходов.

Хотя 3D-печать открывает большие перспективы для будущего производства лекарств, все ещё существуют проблемы, требующие решения, такие как вопросы регулирования, контроля качества и масштабируемости технологии. По мере продолжения исследований и совершенствования технологий 3D-печать, вероятно, будет играть всё более важную роль в фармацевтической промышленности [4,5].

Роботизированные системы доставки лекарств. Разрабатываются инновационные роботизированные системы доставки лекарств для повышения эффективности, безопасности и удобства приёма лекарств пациентами. Эти системы часто включают в себя передовые технологии, такие как искусственный интеллект, машинное обучение и автоматизация.

Разработка инновационных роботизированных систем доставки лекарств обещает революционизировать способы назначения лекарств пациентам, предлагая более точные и персонализированные методы лечения:

- роботизированная внутривенная терапия;
- роботы-капсулы для доставки лекарств в желудочно-кишечный тракт;
- роботизированные системы наведения иглы;
- имплантируемые устройства для доставки лекарств;
- носимые системы доставки лекарств;
- роботизированные системы выдачи лекарств в аптеках;
- роботизированные экзоскелеты для доставки лекарств.

Эти примеры инновационных роботизированных систем доставки лекарств способны преобразить систему приема лекарств, сделав её более безопасной, точной и менее обременительной для пациентов и медицинских работников [5,6].

Роботизация медицины. Помимо применения в фармацевтике, роботизированные технологии также преобразуют медицинскую практику, способствуя более точной диагностике и малоинвазивному лечению. Они преобразуют различные аспекты медицины, включая диагностику, хирургию, реабилитацию и доставку лекарств. Роботизированные технологии в персональной медицине направлены на улучшение ухода за пациентами, повышение доступности и адаптацию методов лечения к индивидуальным требованиям:

- персональный контроль за состоянием здоровья;
- роботизированная хирургия;
- реабилитационная робототехника;
- телемедицина;
- роботизированное протезирование и ортопедические изделия;
- роботы-ассистенты медсестер;
- автоматизация лабораторных исследований.

Эти примеры демонстрируют значительное влияние роботизации на медицину. По мере дальнейшего развития технологий мы можем ожидать дальнейшей интеграции робототехники в здравоохранение, что приведет к улучшению ухода за пациентами и результатов лечения.

Искусственный интеллект и робототехника в разработке лекарств и здравоохранении. Искусственный интеллект стал важной движущей силой развития здравоохранения (рис. 1). Искусственный интеллект и робототехника преобразуют здравоохранение, улучшая диагностику, лечение и уход за пациентами.

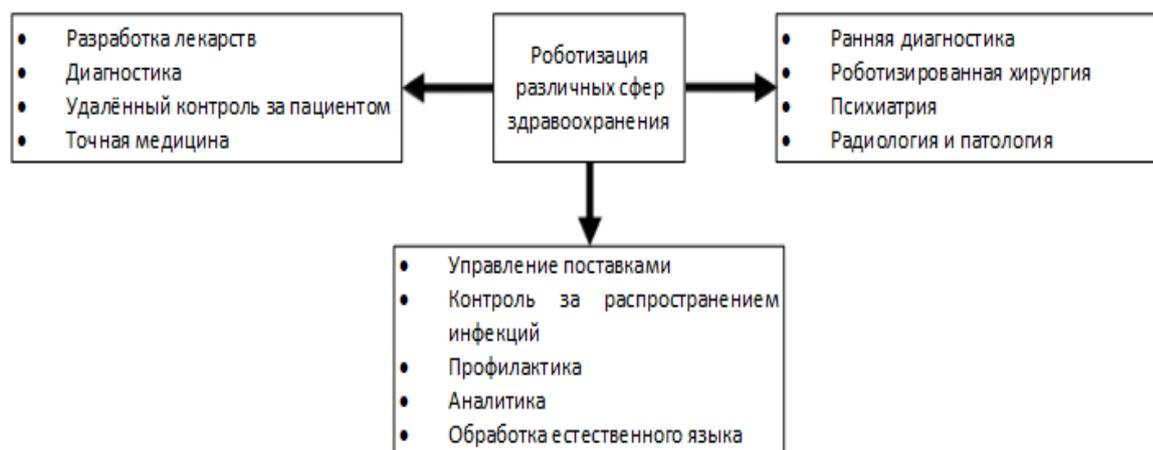


Рис. 1. Применение ИИ в сфере здравоохранения

Искусственный интеллект стал важным инструментом в разработке лекарств (рис. 2), позволяя исследователям ускорить процесс разработки лекарств, снизить затраты и повысить вероятность на успех новых препаратов-кандидатов [7].

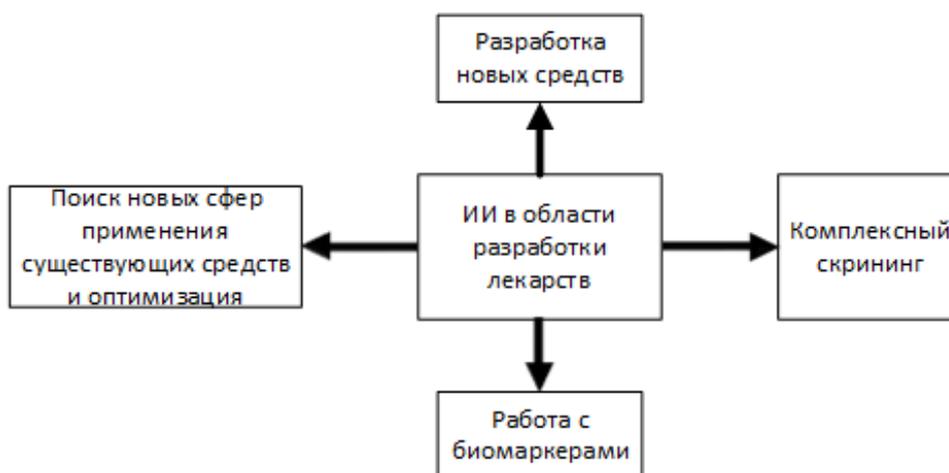


Рис. 2. Применение ИИ в области разработки лекарств

Заключение. Будущее роботизированных технологий и искусственного интеллекта в здравоохранении представляется многообещающим и преобразующим. Поскольку эти технологии продолжают развиваться, они обладают потенциалом революционизировать различные аспекты здравоохранения, начиная от разработки лекарств и производства до диагностики, лечения и ухода за пациентами.

Они преобразуют сферу фармацевтики и медицины, предлагая значительные усовершенствования в фармацевтическом производстве, доставке лекарств, медицинских процедурах, диагностике и лечении заболеваний.

Интеграция робототехники и искусственного интеллекта в системы здравоохранения может привести к повышению эффективности, улучшению результатов лечения пациентов и снижению затрат. Кроме того, эти достижения могут помочь решить некоторые из наиболее насущных проблем здравоохранения, таких как растущий спрос на персонализированную медицину, потребность в более эффективных и целенаправленных методах лечения и снижение вероятности человеческих ошибок в клинических условиях.

Тем не менее, широкое внедрение этих технологий также вызывает этические споры и проблемы, в том числе в отношении конфиденциальности и безопасности данных, подотчетности и ответственность, осознанного согласия, взаимодействия с людьми, предвзятости и справедливости, доступности, надзора со стороны регулирующих органов и самостоятельности в принятии решений. Для обеспечения ответственного и равноправного внедрения роботизированных технологий в здравоохранении необходимо сотрудничество между заинтересованными сторонами.

Доклад выполнен под руководством к.т.н., доцента Т.Н. Кругловой.

Список источников

1. Alahmari A.R.; Alrabghi K.K.; Dighriri I.M. An Overview of the Current State and Perspectives of Pharmacy Robot and Medication Dispensing Technology. *Cureus* 2022, 14, e28642. [CrossRef]
2. Boyd A.M.; Chaffee B.W. Critical Evaluation of Pharmacy Automation and Robotic Systems: A Call to Action. *Hosp. Pharm.* 2019. №54. Pp. 4–11. [CrossRef]

3. Rajpurkar P., Chen E., Banerjee O., Topol E.J. AI in health and medicine. *Nat. Med.* 2022. №28. Pp. 31–38. [CrossRef]
4. Naveed M.A. Transforming Healthcare through Artificial Intelligence and Machine Learning. *Pak. J. Health Sci.* 2023, 4, 01.
5. Jimenez D. How Technology Could Transform Drug Research in 2022. *Pharmaceutical Technology*. 14 December 2021. Available online: <https://www.pharmaceutical-technology.com/features/how-technology-could-transform-drug-research-in-2022/> (accessed on 22 February 2019).
6. Dhattewal J.S., Kaswan K.S., Kuma N. Robotic Process Automation in Healthcare. In *Confluence of Artificial Intelligence and Robotic Process Automation*; Bhattacharyya, S., Banerjee, J.S., De, D., Eds.; Smart Innovation, Systems and Technologies; Springer: Singapore, 2023. Vol. 335. Pp. 157–175. [CrossRef]
7. Morgan A.A., Abdi J., Syed M.A.Q., Kohen G.E., Barlow P., Vizcaychipi M.P. Robots in Healthcare: A Scoping Review. *Curr. Robot. Rep.* 2022. №3. Pp. 271–280. [CrossRef]

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИЙ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТАМИ

Е.В. Потехина

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Статья посвящена анализу потенциальных рисков, способных негативно влиять на эффективность проекта.

Ключевые слова: управление проектами, кибербезопасность, киберугроза, оценка рисков, стратегия управления рисками

В современных условиях развития экономики эффективность проекта и успешная его реализация напрямую зависят от уровня цифровизации систем проектного менеджмента. Постепенно деловой мир переходит в режим online, руководители проектов, управляя своими задачами и процессами, используют цифровые продукты. Несмотря на все преимущества использования средств автоматизации, программных средств, облачных технологий и технологий искусственного интеллекта, переход в цифровой мир несет с собой угрозы безопасности. Каждый год приносит новые угрозы кибербезопасности, утечки данных, векторы атак и ранее неизвестные уязвимости. Даже в случае с уязвимостями нулевого дня, такими как *EternalBlue*, подход к борьбе с киберугрозами остается прежним: надежная система управления рисками с систематической оценкой рисков и подходом к реагированию.

Чтобы снизить риск кибербезопасности, необходимо определить, какие виды средств управления безопасностью (предотвращение, сдерживание, обнаружение, исправление и т.д.) следует применять. Не все риски можно устранить по причинам ограниченности бюджета или персонала для борьбы с каждым риском. Существуют практические стратегии снижения рисков кибербезопасности.

Надежная стратегия управления рисками кибербезопасности заключается в том, чтобы управлять последствиями неопределенности экономически эффективным способом и эффективно использовать ограниченные ресурсы. В идеале управление рисками помогает выявлять риски на ранней стадии и внедрять соответствующие меры по их снижению для предотвращения инцидентов или смягчения их последствий.

Управление проектами, с другой стороны, включает в себя планирование, организацию и выполнение проектов для достижения конкретных целей и задач. Это дисциплина, которая требует эффективной коммуникации, координации и управления ресурсами для обеспечения успеха проекта. Менеджеры проектов несут ответственность за надзор за каждым аспектом проекта, от начала до завершения, и за то, чтобы он был завершен в рамках определенного объема, бюджета и сроков.

Итак, что происходит, когда эти два понятия пересекаются? Пересечение кибербезопасности и управления проектами порождает уникальный набор проблем и возможностей. Это требует от менеджеров проектов не только понимания принципов кибербезопасности, но и интеграции их в процесс управления проектами.

Кибербезопасность в контексте управления проектами выходит за рамки простой защиты данных и систем проекта; Он включает в себя выявление потенциальных угроз и управление ими на протяжении всего жизненного цикла проекта. Это включает в себя понимание профиля рисков проекта, внедрение превентивных мер и эффективное реагирование на любые инциденты безопасности, которые могут возникнуть.

Одним из ключевых аспектов кибербезопасности в управлении проектами является оценка рисков. Руководителям проектов необходимо оценить потенциальные уязвимости и угрозы, которые могут повлиять на успех проекта. Это включает в себя анализ технологической инфраструктуры проекта, определение потенциальных точек входа для злоумышленников и оценку потенциального влияния нарушения безопасности на цели проекта.

После того, как риски выявлены, руководители проектов должны разработать комплексный план кибербезопасности, в котором изложены меры и средства контроля для снижения этих рисков. Это может включать в себя внедрение методов безопасного кодирования, проведение регулярной оценки уязвимостей и разработку протоколов реагирования на инциденты. Интегрируя кибербезопасность в процесс управления проектом, руководители проектов могут обеспечить защиту проекта от потенциальных угроз и уязвимостей.

На этапе планирования проекта руководителям проектов необходимо определить требования и ограничения кибербезопасности, которые необходимо устранить. Это включает в себя определение необходимых элементов управления безопасностью, таких как контроль доступа, протоколы шифрования и системы обнаружения вторжений, для защиты данных и систем проекта. Руководителям проектов также необходимо выделять ресурсы и бюджет на меры кибербезопасности, гарантируя, что им уделяется должное внимание и внимание.

По мере продвижения проекта руководители проектов должны отслеживать и оценивать эффективность внедренных мер кибербезопасности. Это включает в себя проведение регулярных аудитов безопасности, просмотр отчетов об инцидентах и обновление плана кибербезопасности по мере необходимости. Активно управляя кибербезопасностью на протяжении всего жизненного цикла проекта, руководители проектов могут свести к минимуму риск нарушений безопасности и обеспечить успех проекта.

По мере того, как киберугрозы продолжают развиваться и становиться все более изощренными, руководители проектов должны быть в курсе последних тенденций в области кибербезопасности и включать их в свои методы управления проектами.

Киберугрозы, такие как утечка данных или компрометация системы, могут оказать существенное влияние на результаты проекта. Они могут привести к задержкам, перерасходу средств, репутационному ущербу и даже полному провалу проекта. Последствия кибератаки могут быть разрушительными не только для самого проекта, но и для организации в целом.

Например, представьте себе проект, который предполагает разработку новой e-commerce платформы для розничной компании. Если этот проект станет жертвой кибератаки, данные клиентов могут быть скомпрометированы, что приведет к потере доверия и авторитета. Это может обернуться снижением продаж, ущербом репутации компании и потенциальными юридическими последствиями.

Эффективное планирование проекта должно включать в себя меры кибербезопасности с ранних стадий. Это включает в себя выявление потенциальных уязвимостей и угроз, которые могут возникнуть в ходе реализации проекта, и разработку соответствующих мер защиты от них.

В дополнение к техническим мерам, менеджеры проектов также должны сосредоточиться на повышении осведомленности и продвижении культуры кибербезопасности внутри проектной команды и среди заинтересованных сторон. Это может включать в себя организацию учебных занятий, предоставление ресурсов по передовым практикам кибербезопасности и поощрение открытого общения о потенциальных рисках и проблемах.

Включив меры кибербезопасности в планирование проекта, руководители проектов могут свести к минимуму вероятность того, что киберугрозы сорвут ход проекта, и обеспечить защиту ценных активов и информации. В процессе оценки рисков руководители проектов должны учитывать различные факторы, которые могут подвергнуть их проекты киберугрозам. К таким факторам можно отнести зависимость проекта от сторонних вендоров, использование устаревшего программного или аппаратного обеспечения, наличие уязвимостей в сетевой инфраструктуре проекта.

Кроме того, руководители проектов также должны оценить потенциальное влияние киберрисков на свои проекты. Это включает в себя рассмотрение финансовых последствий, репутационного ущерба и юридических последствий, которые могут возникнуть в результате успешной кибератаки.

При выборе инструментов и стратегий кибербезопасности руководители проектов должны учитывать конкретные потребности и требования своих проектов. Они должны оценить эффективность и совместимость различных инструментов и стратегий в борьбе с выявленными киберрисками.

Кроме того, менеджеры проектов должны быть в курсе последних тенденций и передового опыта в области кибербезопасности, чтобы убедиться, что они используют самые передовые и эффективные доступные инструменты. Это может включать в себя посещение конференций по кибербезопасности, участие в отраслевых форумах и сотрудничество с экспертами по кибербезопасности.

Кроме того, менеджеры проектов также должны учитывать удобство использования и удобства использования выбранных инструментов кибербезопасности. Важно найти баланс между безопасностью и удобством использования, чтобы члены проектной группы могли эффективно использовать инструменты без ущерба для безопасности проекта.

Тщательно выбирая и внедряя соответствующие инструменты и стратегии кибербезопасности, руководители проектов могут значительно снизить вероятность успешной кибератаки и защитить свои проекты от потенциальных угроз.

Руководители проектов должны применять упреждающий подход к кибербезопасности и постоянно совершенствовать свои знания и навыки в этой области. Они должны сотрудничать с экспертами по кибербезопасности, проводить регулярную оценку безопасности и обновлять свои методологии управления проектами, чтобы опережать киберугрозы.

В заключение следует отметить, что кибербезопасность имеет первостепенное значение в управлении проектами. Руководителям проектов важно понимать взаимосвязь между кибербезопасностью и управлением проектами, включать меры кибербезопасности в планирование проектов, учитывать ключевые аспекты кибербезопасности и готовиться к будущему кибербезопасности. Таким образом, руководители проектов могут защитить свои проекты, заинтересованных лиц и критически важные данные от постоянно развивающихся киберугроз, что в конечном итоге обеспечит успех проекта.

Список источников

1. Андреева Ю.А. Введение цифровых трансформаций в современное проектное управление // Экономист будущего: меняем мир: сб. статей Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых с международным участием, Кемерово, 30 марта 2023 года / Под общей редакцией Ю.С. Якуниной, Е.Е. Жернова. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. С. 303.1–303.6.
2. Бондаренко В.М. Развитие России в постпандемический период // Теоретическая экономика. 2021. № 4 (76). С. 13–26.
3. Инглунд Р., Бусеро А. Руководитель проектов. Все навыки, необходимые для работы; пер. с англ. Е. Пономаревой. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2018. 380 с.
4. Кибербезопасность в 2023: прогноз угроз и уязвимостей [Электронный ресурс]: <https://vc.ru/future/599568-kiberbezopasnost-v-2023-prognoz-ugroz-i-uyazvimostey/> [Дата обращения: 09.03.2024].
5. Кашицына Т.Н., Султанова А.В., Петров И.Е. Формирование механизма по внедрению гибких подходов к управлению проектами Agile для организаций // Журнал прикладных исследований. 2021. Т. 1. №4. С. 63–67.
6. Клязина Е.Г., Плешакова Е.Ю., Цветков А.Н. Проектный менеджмент: трактовки, особенности и векторы развития // Теория и практика общественного развития. 2020. № 8 (150). С. 49–57.
7. Коровкин В., Каганер Е., Калинин А., Нуреев Б. Цифровая жизнь российских регионов 2020. Доклад московской школы управления "Сколково". [Электронный ресурс]: <https://www.skolkovo.ru/> [дата обращения 07.03.2024].
8. Локтионов Д.А., Масловский, В.П. Критерии применения Agile-методологии для управления проектом // Креативная экономика. 2018. Т. 12. № 6.

9. Ньютон Р. Управление проектами от А до Я: простой и понятный алгоритм, четко следуя которому вы успешно выполните любой проект; пер. с англ. А. Кириченко; ред. М. Савина. М.: Альпина Паблишер, 2020. 180 с.
10. Омелькович А.В., Султанова А.В. Будущее управления проектами в организации // Креативная экономика и социальные инновации. 2022. Т. 12, № 4(41). С. 69–74.
11. Омелькович А.В., Ларкина А.А. Поддержка процессов проектного управления организацией // Лучшая исследовательская работа 2021: сб. ст. II междунар. науч.-исслед. Конкурса. Петрозаводск, 2022. С. 44–50.
12. Омелькович А.В., Салдаева М.Н. Лидерство как ключевой фактор в управлении проектами // Актуальные проблемы и тенденции развития современной экономики: сб. тр. междунар. науч.-практ. конф., Ч.1. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2020. С. 497–503.
13. Приймак В.А. Управление проектами в рамках цифровой экономики: Материалы IV Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. Современная модель управления: проблемы и перспективы, 2020. С. 85–88.
14. Приходченко О.С. Цифровые платформы в региональной системе проектно-целевого управления // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2020. Т. 10. № 2. С. 228–238.
15. Тарновский В.В., Полянин А.В., Паршутин И.Г., Авдеева И.Л. Проектное управление в условиях цифровой экономики: современные тенденции и перспективы // Вестник ОрелГИЭТ. 2018. № 3 (45). С. 150–157.
16. Тиханьчев О.В. О «гибких» технологиях в разработке программного обеспечения систем поддержки принятия решений // Программные системы и вычислительные методы. 2018. № 2. С. 51–59.
17. Филатова М.В., Стукало О.Г., Лебедева Л.В., Цуканова К.А., Дзахмишева И.Ш. Проектное управление в условиях цифровой экономики // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 4. С. 335–339.
18. Шедько Ю.Н. Тенденции развития методологии управления проектами в условиях цифровизации // Самоуправление. 2023. № 3(136). С. 792–794.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

В.Д. Комиссаров

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Статья посвящена анализу влияния внедрения цифровых двойников на бизнес-процессы предприятия.

Ключевые слова: цифровой двойник, бизнес-процессы, цифровизация, цифровая трансформация

Цифровая трансформация всех сфер общественной жизни является одной из основных стратегий мирового общественного развития. Цифровизация становится залогом успешного развития большинства предприятий и организаций.

В рамках перехода к цифровой экономике можно утверждать, что ни одна из сфер деятельности не обходится без компьютерных технологий сбора, обработки и хранения данных.

Начало XXI века характеризуется бурным развитием цифровых технологий в промышленности. Актуальность цифровизации бизнес-процессов заключается в том, что она позволяет предприятиям быстро адаптироваться к постоянно меняющимся условиям внешнего мира, повышая при этом эффективность работы предприятия. Для понимания, необходимо разграничить понятия: оцифровка, цифровизация и цифровая трансформация.

Оцифровка – это перевод бизнес-процессов в цифровой формат. Оцифровка – это первый шаг к цифровой трансформации предприятия.

Цифровизация – следующий шаг на пути к изменениям. На данном этапе, все процессы и данные, переведенные в цифровой формат уже можно использовать для упрощения и оптимизации операций. В рамках цифровизации новые технологии применяются в уже существующих бизнес-процессах (их принципы и структура не меняются).

Цифровая трансформация – это уже более глубокая, сложная и масштабная реорганизация бизнес-процессов предприятия. Это комплекс преобразований предприятия, включая изменение бизнес-моделей на основе новых технологических возможностей. Целью цифровой трансформации является: выход на новый рынок, создание каналов продаж и решений, генерирующих выручку предприятия. На последнем шаге предприятие может создавать решения, интегрирующие все оцифрованные данные. При этом, цифровая трансформация открывает возможности реализации новых стратегий.

Довольно часто цифровизацию приравнивают к автоматизации, которая позволяет перенести часть задач с персонала на какие-либо

программные решения. Но понятие автоматизации все же ближе к понятию оцифровки, так как это перенос бизнес-процессов в электронные системы для обмена данных и хранения в том виде, в котором они уже существуют на предприятии.

Итак, цифровизация бизнес-процессов – это переосмысление и перепроектирование бизнес-процессов с использованием перспективных средств цифровизации и автоматизации для достижения максимального эффекта производственно-хозяйственной и финансово-экономической деятельности предприятия. Также можно сказать, что цифровизация бизнес-процессов или диджитализация – это переход компаний на электронные платформы.

Суть цифровизации бизнес-процессов заключается в выделении основных бизнес-процессов предприятия и их изменении для достижения определенных показателей.

Итак, первая стратегия – цифровая трансформация, которая позволит сократить количество действий, необходимых для выполнения поставленных задач.

Управление данными предоставляет возможность предприятию разрабатывать модели поведения клиентов, а также прогнозировать спрос и формировать предпочтения покупателей, что позволит адаптировать товары и услуги к нуждам определенной группы потребителей.

Клиентоориентированность означает, что при производстве продукта должна быть создана бизнес-модель, которая ориентируется на потребности покупателя, учитывая при этом ценность каждого.

Стратегия внедрения инноваций включает в себя активное использование цифровых технологий, систем и каналов, при постоянном исследовании и тестировании новых продуктов и решений.

Ученые Высшей школы экономики добавляют в этот перечень цифровое партнерство и управление ценностью.

Цифровое партнерство – это создание предприятием и его партнерами общей цифровой инфраструктуры для решения поставленных задач. При этом цифровая структура состоит из технологий и вычислительных, телекоммуникационных и сетевых мощностей.

Управление ценностью – стратегия, с помощью которой проводятся мероприятия по адаптации и персонализации продуктов, учитывая изменения требований потребителя. Ценность продукта для потребителя заключается в удобстве его использования, непрерывном улучшении продукта и постоянной работой компании над качеством услуг.

В индустрии 4.0 выделяют основные показатели эффективности бизнес-процессов, при внедрении цифровых технологий:

- срок вывода продукта на рынок;
- производительность труда;
- качество продукции;
- время производственного цикла и др.

Оптимизация бизнес-процессов в рамках перехода к цифровой экономике повышает эффективность работы предприятия, в частности:

- повышает прозрачность деятельности предприятия;
- положительно влияет на гудвилл предприятия;
- позволяет более точно классифицировать бизнес-процессы;
- нивелирует влияние человеческого фактора;
- повышает качество продукции.

После всего вышперечисленного возникает вопрос: как же новые технологии влияют на текущие бизнес-процессы предприятия.

Цифровизация влияет на сам бизнес-процесс следующим образом:

- процесс упрощается;
- сокращается использование ручного труда;
- сокращаются затраты времени на процесс;
- сокращаются затраты на обслуживание бизнес-процесса;
- снижается вероятность ошибок, то есть существенно снижается риск человеческого фактора.

Также, с помощью цифровизации бизнес-процессов на предприятии:

- повышается производительность и сокращаются издержки предприятия;
- повышается качество планирования работ и управления предприятием;
- происходит заметное улучшение в обслуживании клиентов при предоставлении потребителям модернизированной продукции, а также в обеспечении более быстрого взаимодействия с ними;
- появляются широкие возможности персонализации (легче выявить узкие места в существующих бизнес-процессах).

В научных статьях также выделяют и слабые стороны цифровизации бизнес-процессов предприятия.

Во-первых, нехватка компетентных специалистов в данной сфере значительно влияет на качество и темпы цифровизации бизнес-процесса.

Во-вторых, для реинжининга бизнес-процессов необходимо достаточно длительное время, поэтому во время перехода на предприятии будет существовать традиционный режим и инновационный (цифровой) параллельно.

Потребуется дополнительные затраты на разработку плавного перехода от одной формы ведения хозяйства к другой.

В-третьих, цифровизация бизнес-процессов влечет значительные расходы для предприятия, как финансовые, так и временные. Кроме того, процесс характеризуется глубокой занятостью персонала и необходимостью его обучения.

Подводя итоги, можно сказать, что цифровизация бизнес-процесса – это сложный путь развития для организации и достаточно затратный, однако его эффект на производительность труда, рентабельности продаж и сокращение ресурсозатрат оправдывает готовность к такого рода переменам.

Список источников

1. Барановский В.Ю., Зайченко И.М. Формирование стратегической карты управления предприятием на основе концепции цифровой трансформации бизнеса // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2018. №3.
2. Бизнес-процессы промышленного предприятия: учеб. пособие / под ред. Н.Р. Кельчевской. Екатеринбург: Изд-во Урал.ун-та, 2016. 339 с
3. Григорьев М. Цифровая трансформация бизнеса: как и зачем меняться в digital-эру [сайт]. URL: https://vc.ru/fl_ood/42092-cifrovaya-transformaciya-biznesa-kak-i-zachem-menyatsya-v-digital-eru (дата обращения 10.05.2023).
4. Дмитриев А.Н., Сяхова А.Ф. Цифровые двойники: использование технологии, проблемы и перспективы развития // Исследование цифровизации экономики России: отраслевые аспекты: материалы студенческого круглого стола в рамках X Международной научно-практической конференции, посвященной 113-летию РЭУ им. Г.В. Плеханова, Москва, 08–12 апреля 2020 года / Под редакцией В.И. Ресина. М.: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, 2020. С. 28–36.
5. Елиферов В.Г., Репин В.В. Бизнес-процессы. Регламентация и управление. 2016. 300 с.
6. Землякова С.Н. Методические аспекты цифровизации бизнес-процессов организаций в условиях перехода на цифровую экономику // Вестн. Алтайской академии экономики и права. 2019. № 4-2. С. 186–189.
7. Информационные технологии в бизнесе; под ред. М. Желены. СПб.: Питер, 2002. 1120 с.
8. Кокорев Д.С., Юрин А.А. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса // «Colloquium-journal» №10(34), 2019 / TECHNICAL SCIENCE. С. 31–35.
9. Королев Д.В. Цифровые двойники в ракетно-космической промышленности: проблемы и перспективы внедрения // Политехнический молодежный журнал. 2020. №4(45). 1 с. DOI 10.18698/2541-8009-2020-4-594.
10. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / А. Прохоров, М. Лысачев; науч. ред. Боровков А. М.: ООО «АльянсПринт», 2020. 401 с.
11. Симченко Н.А., Цехла С.Ю. Цифровые двойники в экономическом развитии промышленности: управление и эффекты. Симферополь: Издательский дом КФУ, 2021. 238 с. ISBN 978-5-6046333-7-3.
12. Сорокин А.В. Реинжиниринг бизнес-процессов: учеб. пособие; Рубцовский индустриальный институт. Рубцовск, 2014. 77 с.
13. Царева А.Е., Баранников А.Л. Влияние цифровизации бизнес-процессов на эффективность работы предприятия // Социально-экономические процессы современного общества: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Чебоксары, 26 февр. 2021 г.) / редкол.: Э.В. Фомин [и др.]. Чебоксары: ИД «Среда», 2021. С. 143–146. ISBN 978-5-907411-16-6.
14. Цифровой консалтинг КМДА. Цифровая трансформация в России – 2020 [сайт]. URL: https://komanda-a.pro/projects/dtr_2020 (дата обращения 20.04.2023).

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СКАНИРУЮЩЕГО МОДУЛЯ НА МАНИПУЛЯТОРЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Т.Н. Круглова, И.А. Шмелев, Д.А. Шмелева

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Данная работа направлена на изучение метода повышения точности позиционирования сканирующего модуля.

Ключевые слова: манипулятор, техническое зрение, сканирующий модуль, позиционирование, точность, изделие

Сканирование изготовленного изделия представляет собой более автоматизированный процесс с точечным контролем качества, чем проверка изделия на наличие дефектов вручную. В отличие от ручной проверки изделия, автоматизированное сканирование с помощью робота-манипулятора позволяеткратно увеличить безопасность персонала в производственном цеху, т.к. некачественно закрепленное изделие, особенно в больших габаритах представляет опасность для жизни. Технология автоматизированного сканирования позволяет локально проводить строго регламентированную проверку изделия, даже в труднодоступных местах.

Основное преимущество автоматизированного сканирования заключается в том, что сканирование проводится по определенному алгоритму для каждого изделия и позволяет паспортизировать каждое изделие в цифровом виде, тем самым снижая риск пропуска бракованной детали в дальнейшие производственные процессы. Благодаря этому, данный метод проверки изделий является перспективным для дальнейшего развития технологии. Развитие оборудования с числовым программным управлением и инструментов для создания управляющих программ существенно способствовало появлению автоматизированного сканирования. Этот процесс значительно упрощает процедуру проверки изделия, позволяя снизить затраты на брак, логистику и обеспечить более качественное исполнение, что особенно актуально для серийного производства.

Целью данного исследования является повышение точности перемещений робота-манипулятора за счет их контроля в процессе автоматизированного сканирования с использованием камер и компьютерного зрения.

С учетом требований к точности изготовления детали и условий технологического процесса был выбран состав автоматизированного комплекса для сканирования крупногабаритных изделий. Он включает в себя робота-манипулятора (см. рис. 1), смарт-камеры Omron, лазерный сканер *Leica*, метки, установленные на адаптере пуансона, а также для увеличения точности позиционирования метки могут устанавливаться на самой заго-

товке, и компьютер с программой управления. Выбранная смарт-камера соответствует требованиям по разрешению и четкости получаемого изображения и частоте обновления параметров технологического процесса.

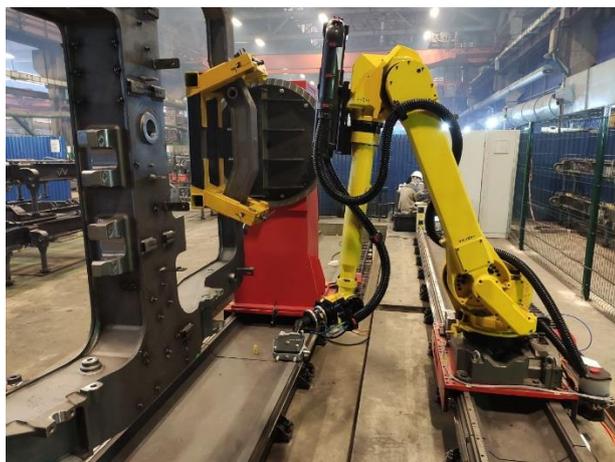


Рис. 1. Робот-манипулятор со сканирующим модулем

При выполнении задач без обратной связи робот может накапливать ошибку в позиционировании, что может привести к смещению траектории сканирования изделия и возможному пропуску ключевых мест возникновения дефектов. Поэтому важно иметь систему обратной связи по положению рабочего органа робота-манипулятора в моменте. Для этой цели используются камеры компьютерного зрения. На рис. 2 показана схема расположения всех частей автоматизированного комплекса для сканирования деталей.

По результатам положений, полученных на основе сформированных изображений со смарт-камер, с помощью программы определяется, насколько точно выполняется перемещение, т.е. не превышает ли разность действительного и требуемого значения траектории допустимую величину. В случае, если превышения нет, то коэффициент корректировки положения рабочего органа остаётся на значении по умолчанию. На рис. 2 показан алгоритм коррекции перемещения робота-манипулятора.

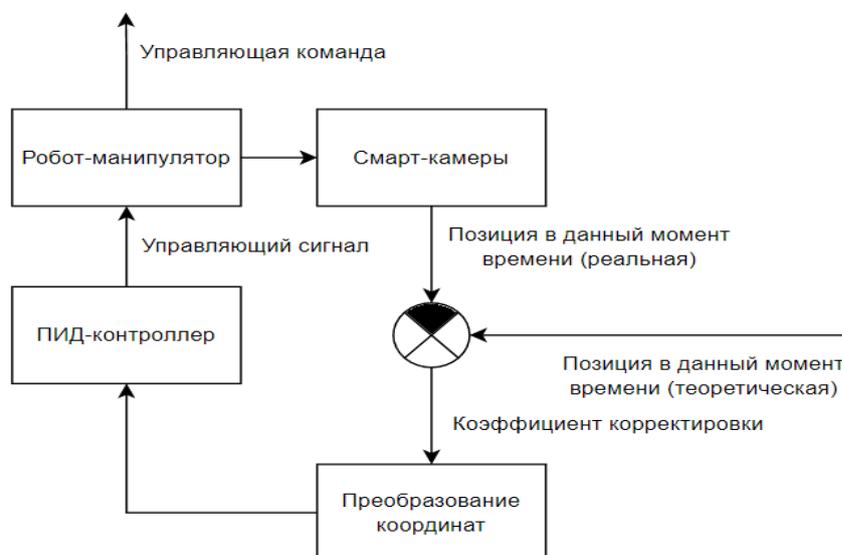


Рис. 2. Схема автоматизированного комплекса с использованием ПИД-регулятора

В разрабатываемой математической модели значения координат перемещения робота получаются в качестве входных данных из системы координат смарт-камеры. Затем эти значения преобразуются в систему координат робота.

Представленная модель способна выявить расхождение между фактической и теоретической траекториями перемещения робота-манипулятора в процессе штамповки. Кроме того, она позволяет оценить эксцентриситет, градиент и энтропию траектории перемещения в процессе сканирования изделия по заданной траектории

$$P_m(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{bmatrix} = {}^t_bT^{-1} * P_c(t) = {}^t_bT^{-1} \begin{bmatrix} x_0(t) - x_m(t) \\ y_0(t) - y_m(t) \\ z_0(t) - z_m(t) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

В ходе выполнения алгоритма компенсации возможно возникновение статической ошибки регулирования, а также накопление ошибки, что в конечном итоге может повлиять на неправильную работу алгоритма. Для коррекции и компенсации этих ошибок рекомендуется применять ПИД-регулятор:

$$k(t) = K_p * {}^t_bT^{-1} \begin{bmatrix} x_0(t) - x_m(t) \\ y_0(t) - y_m(t) \\ z_0(t) - z_m(t) \end{bmatrix} + K_i * {}^t_bT^{-1} + \\ + K_D * {}^t_bT^{-1} \begin{bmatrix} x_0(t) - x_0(t-1) - x_m(t) + x_m(t-1) \\ y_0(t) - y_0(t-1) - y_m(t) + y_m(t-1) \\ z_0(t) - z_0(t-1) - z_m(t) + z_m(t-1) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

В процессе исследования были определены факторы, которые оказывают влияние на точность измерений координат робота. К ним относятся: расстояние между смарт-камерой и меткой, угол падения излучения на отражатель, расстояние между метками на оснастке и расстояние от метки до инструментального центра.

Для повышения точности в данной работе используется смарт-камера, но она, как и любой измерительный прибор, имеет свою погрешность измерений, поэтому для определения точности работы системы вводится понятие неопределенности измерения. Для нахождения неопределенности системы будет использован метод Монте-Карло. Данный метод позволяет вычислить необходимые параметры расположения объектов измерительной системы для оптимальной точности измерений. В качестве изменяемых параметров будут выступать вышеописанные факторы.

При моделировании измерительной системы будет измеряться расстояние от точки до плоскости, т.е. расстояние от центральной точки позиционирования рабочего органа робота до рабочей плоскости. Плоскость должна задаваться отражателями на рабочей плоскости изделия, а точка центра позиционирования рабочего органа робота – отражателем на последнем звене робота.

Для повышения точности использовалась смарт-камера, однако, как и у любого измерительного прибора, она обладает погрешностью измерений. Для оценки точности работы системы было введено понятие неопределенности измерений. Метод Монте-Карло был использован для определения этой неопределенности. Данный метод позволяет вычислить оптимальные параметры расположения объектов измерительной системы, чтобы достичь наилучшей точности измерений. Вышеупомянутые факторы будут выступать в качестве изменяемых параметров в этом методе.

При моделировании измерительной системы должно производиться измерение расстояния от точки до плоскости, то есть расстояния от центральной точки позиционирования рабочего органа робота до рабочей плоскости. Рабочая плоскость будет определяться метками, размещенными на рабочей плоскости изделия, а точка центральной точки позиционирования рабочего органа робота будет определяться меткой на рабочем органе робота. Ошибку измерения каждой конфигурации «смарт-камера – рабочая плоскость» можно определить по формуле:

$$e_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} - S_{ij}$$

С учетом того, что на точность определения меток в пространстве напрямую влияет освещенность рабочей зоны, степень запыленности объектива камеры (в условиях реального цехового производства), были проведены замеры в различных условиях, которые показали, что использование данных методов позволяет повысить точность позиционирования и снизить отклонение от заданной траектории у рабочего органа (в данном случае сканирующего модуля) манипулятора не более чем на 5 %.

Доклад выполнен под руководством к.т.н., доцента Т.Н. Кругловой.

Список источников

1. Аюшеев Т.В. Моделирование процесса изготовления деталей методом инкрементальной формовки // Проблемы механики современных машин / Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления. 2018. № 2. С. 104–108.
2. Xiaojia S., Fumin Z., Xinghua Q., Bailing L. An online real-time path compensation system for industrial robots based on laser tracker // International Journal of Advanced Robotic Systems. 2016. September-October. № 14. P. 14.
3. Wang H. Configuration optimization of laser tracker stations for position measurement in error identification of heavy-duty machine tools. Measurement Science and Technology, 2019. 13 p.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В СФЕРЕ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗВИТИЯ ГОРОДОВ И ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Е.А. Буркунов

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Представлена практическая возможность применения гидродинамических моделей.

Ключевые слова: цифровой двойник, лазерное сканирование, гидродинамическая модель, гидрологическая модель

Сегодня главной движущей силой социально-экономического развития становятся информационные технологии. Инновационные способы сбора и анализа данных постепенно занимают место устоявшихся механизмов управления городом. В отличие от статистических выборок, которые успевают устареть к моменту их анализа, «большие данные» могут обрабатываться в режиме реального времени, что повышает качество и скорость принятия решений. «Большие данные» в области городского управления дополняют традиционные типы информации о городе и расширяют сферу их применения. Так, благодаря «большим данным» стал возможен мониторинг поведенческих моделей и анализ городского образа жизни на пересечении таких привычных категорий как население, экономическое развитие, застройка и инфраструктура и др. Цифровая революция и повсеместное распространение интернета породили новый феномен – *Data Driven City* (город, управляемый данными) [1] и близкий ему термин *Smart City* (Умный город). Умный город можно определить, как стратегический подход к интеграции данных и цифровых технологий для обеспечения устойчивости, благосостояния граждан и экономического развития городской среды [2].

Концепция Умного города определяет концепцию пространства, в котором ключевые компоненты городской инфраструктуры – окружающая среда, борьба с чрезвычайными ситуациями, управление дорожным движением и энергетика – интегрированы таким образом, что их функции и возможности могут быть легко объединены как друг с другом, так и с новыми системами [3].

Концепция «Цифрового двойника» (ЦД) обеспечивает создание и поддержку виртуальных моделей объектов и процессов реального мира. Подход цифровых двойников ориентируется на возможность получения и эффективной обработки потоков данных, собираемых автоматически посредством распределенных сенсорных систем «Интернета вещей» (*Internet of Things, IoT*). «Цифровой двойник» города постепенно наполняется данными

реального города, собираемыми в реальном времени из развернутой *IoT* инфраструктуры и городских информационных систем. «Цифровой двойник», анализируя информацию о состоянии городской инфраструктуры, динамике движения людей и транспорта, их взаимозависимость, а также их колебания во времени и пространстве, способен прогнозировать изменения состояния систем городского хозяйства и предлагать оптимальные решения. Кроме того, независимо от текущего состояния, цифровой двойник позволит отвечать на вопросы вида «что, если», помогая аналитикам понять, как города, оснащенные интеллектуальными технологиями, будут функционировать в тех или иных экономических, экологических и социальных условиях, и определить факторы, способствующие возможным сбоям [4].

В настоящее время Холдингом ДОНГИС, в том числе АО «Сахалин-ТИСИЗ» практикуется гидродинамическое и гидрологическое моделирование сложных объектов избранных и схожих проектов по определению параметров затопления в городской черте:

- моделирование затоплений у проектируемых станций метро в Москве, 10 объектов;

- моделирование затоплений у проектируемого Национального Космического центра (г. Москва) для целей проектирования водосточной системы и разработка режимов работы КНС и регулирующего резервуара;

- моделирование пропуска паводков и выявление паводкоопасных мест на реке Есиль (Ишим, Казахстан);

- моделирование затоплений для целей разработки мероприятий по инженерной защите территории г. Сковородино (Амурская область);

- моделирование затоплений г. Геленджика (Краснодарский край) для разработки концепции безопасного водоотведения в целом и дождевой канализации в частности;

- моделирование затоплений городской территории от дождевых паводков в реке Яузе (г. Москва) для целей снижения уровней воды при различных инженерных мероприятиях.

Целью данной статьи является исследование существующих практических технологий построения цифровых двойников городов и территорий на основе гидрологического и гидродинамического моделирования. Для этого необходимо определить понятие цифрового двойника города.

Цифровой двойник (ЦД) – это интегрированная мульти-физическая, мультимасштабная вероятностная симуляция сложного объекта, которая использует физические, математические, имитационные и другие модели, для того чтобы получить как можно более достоверное представление о соответствующем реальном объекте на основе анализа данных, поступающих из сенсорных сетей и других источников [5].

Цифровой двойник города – это комплекс взаимосвязанных цифровых двойников, представляющих определенные аспекты функционирования и развития городской среды. Эти цифровые двойники поддерживают возмож-

ности тонкой подстройки и синхронизации с реальным состоянием городской инфраструктуры посредством данных, поступающих из различных источников в режиме реального времени [4,6].

Цифровой двойник города обеспечивает следующие возможности:

- мониторинг текущего состояния городской среды;
- оперативное реагирование на возникновение чрезвычайных ситуаций;
- оценку эффективности проектных решений;
- выявление источников потенциальных рисков;
- прогнозирование развития ситуации с учетом исторических данных.

Актуальными возможностями цифровых двойников можно выделить оперативное реагирование на возникновение чрезвычайных ситуаций и выявление источников потенциальных рисков. Такие возможности цифровых двойников практикует Холдинг ДОНГИС, в том числе АО «Сахалин-ТИСИЗ» и применяет на основе построения гидродинамических моделей:

- полный гидродинамический расчёт речных систем с описанием всех типов гидротехнических сооружений в русле и на пойме;
- выявление участков, подверженных затоплению паводковыми водами;
- разработка режима регулирования гидротехнических сооружений при пропуске паводков и минимизации негативных последствий;
- разработка противопаводковых мероприятий и защиты при прохождении экстремальных паводков;
- обоснование проектов дноуглубления русл, проектов строительства и реконструкции гидротехнических сооружений;
- моделирование нагонных наводнений;
- создание моделей для целей оперативного прогнозирования;
- картографирование зон затоплений;
- определение границ затоплений и характеристик потока на затопляемых территориях;
- разработка предложений по определению границ зон затопления для передачи для передачи в органы власти для ведения государственного кадастра недвижимости;
- моделирование речных портовых акваторий с целью оперативного прогнозирования уровня обстановки;
- гидродинамические расчеты полей скоростей течения воды в реках и других водных объектах при проектировании различных гидротехнических сооружений или других сооружений, искусственных препятствий;
- создание моделей для прогнозов уровенных режимов и оперативного регулирования;
- получение границ затопления при прорывах плотин и других гидродинамических авариях.

Использование гидродинамических моделей в градостроительном планировании:

- гидродинамическое моделирование затоплений городских и прилегающих территорий;
- оценка работы гидротехнических сооружений и проектирование мероприятий по их реконструкции;
- разработка противопаводковых мероприятий и работ по берегоукреплению;
- разработка карт затопления территории с учётом градостроительных особенностей;
- определение границ зон затоплений населённых пунктов и прогнозирование затоплений;

– разработка планов эвакуации населения;

– расчёт ущербов от наводнений для городской инфраструктуры и т.д.

Рассматривая гидродинамическое моделирование, применяемое для практического построения необходимо выделить программное обеспечение.

DHI – разработчик программного обеспечения *MIKE Powered by DHI*, международная независимая исследовательская и консалтинговая организация и признанный эксперт в моделировании водных сред.

В модели учитываются все факторы, важные для моделирования конкретного объекта:

- переменная батиметрия русла и поймы, изменчивый рельеф;
- переменные метеорологические/гидрологические условия;
- наличие и различная конфигурация островов, перекатов, поворотов, мостов, дамб обвалования и иных искусственных сооружений в акватории и на пойме;
- наличие автодорожных насыпей, мостовых переходов и т.п.

Результатом работ по моделированию могут являться карты затопления и карты скоростей течений при различных сценариях. Полученные карты также обрабатываются, результаты обработки сводятся в таблицы площадей, скоростей, времени стояния воды, времени добега волны.

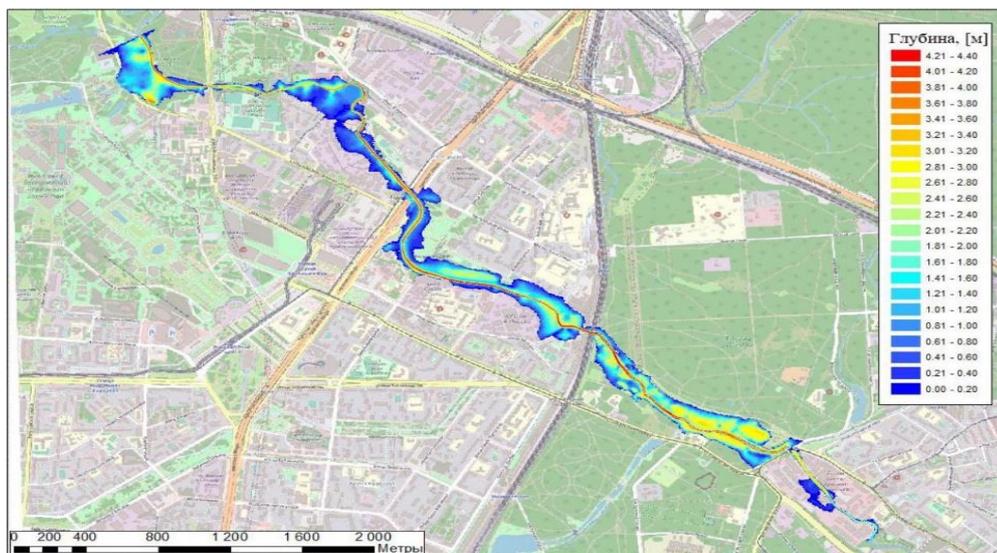


Рис. 1. Карта максимальных глубин и границ затопления (пример, при выпадении дождя повторяемостью реже, чем 1 раз в 200 лет)

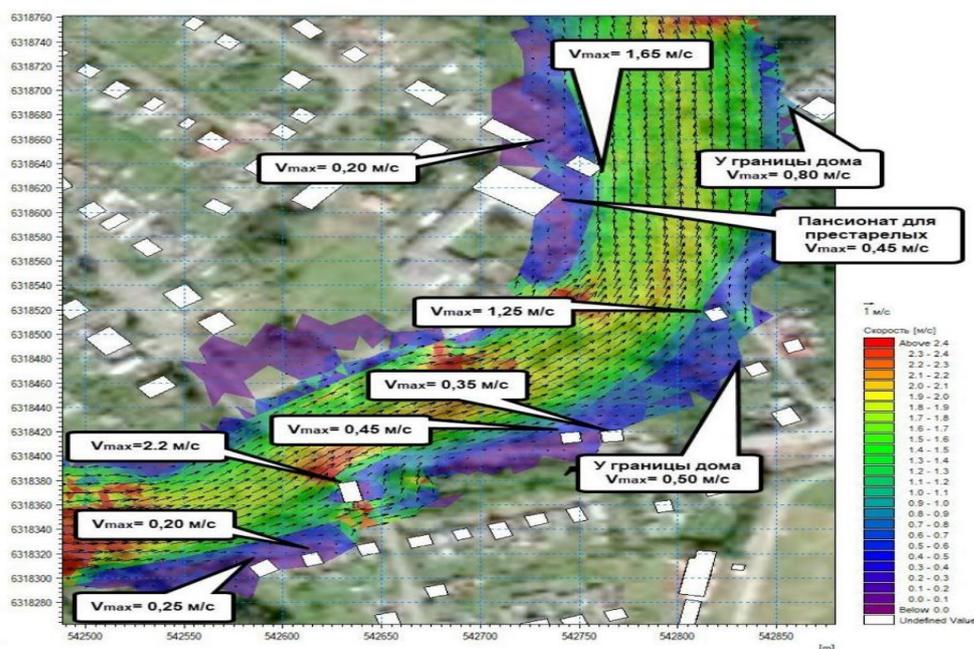


Рис. 2. Карта максимальных скоростей и направлений течений (пример, укрупненный фрагмент)

В рамках данной статьи были проанализированы существующие технологии построения цифровых двойников городов. Было рассмотрено определение и ключевые компоненты, составляющие цифровой двойник города и территорий, практические примеры построения и прогнозирования Холдингом ДОНГИС, в том числе АО «СахалинТИСИЗ» с целью оперативного реагирования на возникновение чрезвычайных ситуаций и выявление источников потенциальных рисков решений.

Список источников

1. От концепции до прикладных решений. Города, управляемые данными. 2016. URL: https://www.pwc.ru/ru/government-and-public-sector/assets/ddc_rus.pdf (дата обращения: 14.09.2020).
2. Smart cities readiness: smart cities maturity model and self-assessment tool, Scottish cities alliance. 2014. URL: https://www.scottishcities.org.uk/site/assets/files/1103/smart_cities_readiness_assessment_-_guidance_note.pdf (дата обращения: 14.09.2020).
3. Nam T., Pardo T.A. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions // Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times (College Park, MD, USA, Jun, 12–15, 2011). ACM, 2011. P. 282–291. DOI: 10.1145/2037556.2037602.
4. Mohammadi N., Taylor J.E. Smart city digital twins // Proceedings of the 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (Honolulu, HI, USA, Nov., 27 – Dec., 1, 2017). IEEE, 2017. Pp. 1–5. DOI: 10.1109/SSCI.2017.8285439.
5. Glaessgen E., Stargel D. The digital twin paradigm for future NASA and U.S. air force vehicles // Proceedings of the 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC conference on structures, structural dynamics and materials conference (Honolulu, Hawaii, USA, April, 23– 26, 2012). 2012. P. 1818. DOI: 10.2514/6.2012-1818.
6. Ruohomaki T., Airaksinen E., Huuska P., et al. Smart city platform enabling digital twin // 2018 International Conference on Intelligent Systems (Funchal-Madeira, Portugal, September, 25–27, 2018). IEEE, 2018. P. 155–161. DOI: 10.1109/IS.2018.8710517.

ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГЕНЕРАЦИИ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Е.Р. Бакаева

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. В качестве модели краткосрочного прогнозирования генерации активной мощности предложена гибридная прогнозная модель на основе синтеза искусственной нейронной сети, сингулярного спектрального анализа (ССА), эволюционного алгоритма (ЭА).

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, эволюционный алгоритм, модель прогнозирования, спектральный сингулярный анализ, гибридная модель

Разработанная нами модель краткосрочного прогнозирования является гибридной моделью, которая использует метод сингулярного спектрального анализа для разложения числового ряда на трендовые составляющие, гармоники и шумы. Анализ числового ряда выполняется в два этапа: разложение и восстановление.

Ниже приведен способ реализации сингулярного спектрального анализа (ССА) [1], применяющейся в разработанной нами модели краткосрочного прогнозирования генерации активной мощности.

Шаг 1. *Вложение.* Процедура вложения переводит исходный числовой ряд в последовательность многомерных векторов.

Принимаем L – некоторое целое число (длина окна), $1 < L < K$.

Длина окна L в условиях краткосрочного прогнозирования предлагаемой нами модели позволяет отобразить для анализа спектр числового ряда, ограниченный значениями длины окна. В нашем случае длина окна принята равной восьми значениям, что позволяет разбить числовой ряд суточной генерации активной мощности на три равных участка для проведения детального спектрального анализа.

Процедура вложения образует $K = L - N + 1$ векторов вложения $X_i = (f_{i-1}, \dots, f_{i+L-2})^T, 1 \leq i \leq K$ имеющих размерность L .

X – траектория матрица временного ряда F , состоит из векторов вложения в качестве столбцов

$$X = [X_1 : \dots : X_K]$$

Другими словами, траектория матрица – это матрица вида

$$X = (x_y)_{i,j-1}^{L,K} \begin{pmatrix} f_0 & f_1 & f_2 & \dots & f_{K-1} \\ f_1 & f_2 & f_3 & \dots & f_K \\ f_2 & f_3 & f_4 & \dots & f_{K+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{L-1} & f_L & f_{L+1} & \dots & f_{N-1} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Шаг 2. *Сингулярное разложение.* Результатом этого шага является сингулярное разложение траекторной матрицы временного ряда.

Если обозначить $V_i = X^T U_i / \sqrt{\lambda_i}, i=1, \dots, d$, то сингулярное разложение матрицы X будет записано как

$$X = X_1 + \dots + X_d, \quad (2)$$

где $X_i = \sqrt{\lambda_i} U_i V_i^T$ каждая из матриц X_i имеет ранг 1, поэтому их можно назвать элементарными матрицами.

Набор $(\sqrt{\lambda_i}, U_i, V_i)$ называют i -й сингулярной тройкой разложения.

Шаг 3. *Группировка.* На основе разложения (2) процедура группировки делит все множество индексов $\{1, \dots, d\}$ на m непересекающихся подмножеств I_1, \dots, I_m .

Такие матрицы вычисляются для $I = I_1, \dots, I_m$, тем самым разложение (2) может быть записано в сгруппированном виде:

$$X_I = X_{i1} + \dots + X_{ip}. \quad (3)$$

На последнем шаге базового алгоритма каждая матрица сгруппированного разложения (3) переводится в новый временной ряд длины N .

Применяя диагональное усреднение к результирующим матрицам, получаем временной ряд $F^{(k)} = (f_0^{(k)}, \dots, f_{N-1}^{(k)})$, и, следовательно, исходные временные ряды (f_0, \dots, f_{N-1}) раскладывается в сумму m временного ряда:

$$f_n = \sum_{k=1}^m f_n^{(k)} \quad (4)$$

При помощи приведенного метода сингулярного спектрального анализа выполняем преобразование числового ряда для выявления случайных (ошибочных) значений, которые исключаются из числовой выборки машинного обучения нейронной сети.

Кроме того, разработанная нами модель краткосрочного прогнозирования генерации активной мощности использует эволюционные алгоритмы в частности генетический алгоритм для обработки числовой выборки, полученной после применения сингулярного спектрального анализа данные которой используются для машинного обучения нейронной сети.

Применение эволюционного алгоритма позволяет исключить "шум" при обработки числовой выборки после применения сингулярного спектрального анализа, используя в своей основе турнирный метод, при котором с вероятностью "р" выживает более приспособленная особь. Процесс повторяется до тех пор, пока не останется заданное количество особей. Таким образом, происходит исключений из числового ряда ошибочных, случайных значений, приводящих к переобучению нейронной сети.

Кроссовер числового ряда данных для машинного обучения имеет фиксированную длину, указанную оператором программного продукта, реализуют следующим образом: методом одноточечного кроссовера.

В качестве эволюционного алгоритма применяется генетическое программирование. Генетическое программирование выполняется по каждому числовому ряду входных данных нейронной сети. Применение генетического программирования позволяет исключить "шум" в числовых рядах посредством задания ограничения на целевую особь. Таким образом, неподходящие под ограничения хромосомы отсеиваются посредством повторения генетических операций кроссовера до получения особи, удовлетворяющей ограничениям.

Разработанная нами модель краткосрочного прогнозирования генерации активной мощности использует параметры генетического программирования, приведенные ниже:

- стратегия отбора - турнирный метод, для размножения отбираются 25 % популяции, имеющих наибольшее значение фитнес-функции;
- частота мутации – 2 %;
- количество популяций – 1000;
- целевая функция (фитнес-функция) - квадратичная ошибка 5 %.

В результате такого разложения исключаются из числового ряда шумы (случайные значения числового ряда), что позволяет снизить ошибку обучения нейронной сети до 5 % и исключить переобучение нейронной сети на большом количестве архивных данных. Величину числового ряда для обучения нейронной сети определяется из длины окна, применяемого при разложении числовой выборке методом сингулярного спектрального анализа.

Приведенная нами модель краткосрочного прогнозирования генерации активной мощности ветровыми генераторными установками ветропарка, основанная на синтезе искусственной нейронной сети, сингулярного спектрального анализа (ССА), эволюционного алгоритма (ЭА) позволяет получить высокую точность краткосрочного прогнозирования с величиной средней абсолютной ошибки *MAPE* равной не более 5 %.

Список источников

1. Поршнева С.В., Рабая Ф. Исследование особенностей применения метода сингулярного спектрального анализа в задаче анализа и прогнозирования временных рядов: монография. Ульяновск: Зебра, 2016. 167 с.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ПОТЕНЦИАЛ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПАСПОРТИЗАЦИИ И СБОРЕ ДАННЫХ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В.В. Страшной, М.А. Комиссарова

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассмотрена проблематика применения цифровых технологий в паспорттизации и сборе данных для обслуживания тягового подвижного состава.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, цифровизация, надежность, отказы, мониторинг

В местах дислокации гарантийных центров завода-изготовителя тягового подвижного состава (ТПС) – эксплуатационных локомотивных депо определена проблематика отсутствия накопительной статистики замечаний и несоответствий по оборудованию ТПС в оцифрованном виде для проведения дальнейшего анализа, в том числе и в автоматизированном формате с помощью специально разработанных программных средств.

При заходах в депо локомотивов, находящихся на сервисном обслуживании по условиям контракта жизненного цикла на плановые виды обслуживания и текущий ремонт, производится осмотр локомотивов с обязательным заполнением «чек-листов» по выявлению неисправностей оборудования локомотива. По результатам их анализа, который в настоящее время проводится с помощью экспертного метода, разрабатываются мероприятия по уменьшения отказов в эксплуатации по выявленным несоответствиям и повышения коэффициента эксплуатационной готовности.

«Чек-лист» представляет из себя бланк с перечнем основного оборудования, которое необходимо осмотреть при заходе локомотива в депо. Информация о выявленной неисправности вписываются вручную, «чек-лист» оформляется и в сканированном виде заносится в базу данных (одним файлом) для учета. Формируется сводный перечень по реквизитам оформленных «чек-листов» (номер электровоза, вид ТОиТР, дата осмотра), не предусматривающий декомпозицию по осмотренному оборудованию и их текущего состояния. Соответственно для обеспечения надлежащего мониторинга и учета текущего состояния ТПС рассмотрим преимущества применения цифровых технологий.

Заполняемые «чек-листы» могут быть частью цифрового электронного паспорта ТОиТР, с помощью которого производится контроль процесса обслуживания ТПС в сервисном локомотивном депо. Основным принципом цифрового электронного паспорта ТОиТР заключается в том, что ремонт ТПС контролируется на каждой стадии обслуживания: в программе отслеживается статус выполнения работ пооперационно (этапы), оценивается их продолжительность и отставание, фиксируются замечания и несоответствия, выявляемые в процессе выполнения обслуживания.

Благодаря разделению цикла работ на позиции определяется перечень действий для каждой позиции отдельно. При переходе ТПС с этапа на этап происходит сдача работ одной рабочей бригады другой с отметкой о качестве и полноте их выполнения. Другая бригада, принимающая выполненные работы и производящие следующий перечень работ повторяет данный процесс. Данный процесс получается непрерывным и заканчивается по выполнению всех необходимых работ ТПС, что фиксируется в электронном паспорте, обеспечивая контроль и визуализацию сервисного обслуживания.

Потенциал внедрения системы при развитии цифровых технологий может быть интегрировано с величиной заработной платы сотрудников и усилению мотивации производственных подразделения по повышению качества и ритмичности обслуживания, так называемыми коэффициентами ритмичности (оценивает своевременность выполнения работ бригадами) и качества (оценивает культуру выполненных работ и отсутствие замечаний по их окончанию, которые выявляются при выполнении работ другими работниками).

Общее количество «чек-листов» за 2023 год составляет 2874 документа, каждый из них состоит из 9 страниц, итого 25 886 страниц рукописных данных в формате «.PDF» не поддающихся автоматизированному анализу. Для формирования накопительной статистики (базы данных) по текущему состоянию ТПС можно использовать один из инструментов цифрового заполнения «чек-листов» с помощью мобильного приложения, которое заменит ручное заполнение «чек-листов» в бумажном виде на заполнение «чек-листа» в электронном виде с адаптированный дружественным интерфейсом. Применение мобильного приложения имеет ряд преимуществ, которые при множестве пользователей является критическими: снижение временных затрат, уменьшение риска ошибок при заполнении, фокусируется внимание на каждом вопросе, контроль безопасности данных, их сохранности и исключения потери информации за счет резервирования.

Данные заполненные в мобильном приложении выгружаются в формате «.CSV» в виде таблицы, который в дальнейшем можно экспортировать в специально разработанную программу. Экспортированный массив информации можно обработать с помощью фильтрации и подготовить для анализа и дальнейшее принятие корректирующих мероприятий для повышения безотказной эксплуатации и качества обслуживания ТПС.

Список источников

1. Имитационное моделирование при технологическом проектировании предприятий / В.Т. Черемисин, В.А. Смирнов, А.М. Семёнов // Железнодорожный транспорт. 2013. №5.
2. Смирнов В.А., Панов К.В. Применение метода активной лазерной триангуляции для решения задач автоматизации технологических процессов ремонта подвижного состава // Транспорт Урала. 2018. № 2.
3. Сирота А.А. Компьютерное моделирование и оценка эффективности сложных систем. М.: Техносфера, 2006.

4. Сиротенко Э.А. Системное представление аудита. // Аудит и финансовый анализ, 2005. №1.
5. Сергеев К.А., Готаулин В.В. Снижение энергозатрат железнодорожного транспорта за счет повышения качества ремонта и технического обслуживания вагонов // Энергосберегающие технологии на ж.д. транспорте. Сборник научных статей. РГОТУПС. 2002
6. Рынок транспортных услуг: взаимодействие и партнерство // РЖД-Партнер, №22, 2009.
7. Руководство по текущему и среднему ремонту электрических машин электровозов: ОАО «РЖД». М., 2010.
8. Проектирование промышленных предприятий: Принципы. Методы. Практика / Клаус-Герольд Грундиг; пер. с нем. М.: Альпина Бизнес Букс, 2007.
9. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. М.: Лань, 2010.
10. Обеспечение эксплуатационной надежности локомотивов на этапах жизненного цикла / А.Т. Осяев, А.Б. Подшивалов и д.р. М.: 2006.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПОВЫШЕНИИ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ

А.М. Потехин, М.А. Комиссарова

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация. Рассмотрена проблематика внедренных методов оценки эксплуатационных показателей надежности локомотивов.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, локомотивы, надежность, отказы, мониторинг

Локомотивы производимые в настоящее время, изготавливаются из оборудования, сборочных единиц и агрегатов, которые имеют разный ресурс безотказности. Конструктивно приводя данный ресурс к единому показателю потребует значительных затрат, что является экономически нецелесообразным. В тоже время, действующая система ТОиТР не может обеспечить эксплуатацию локомотива без отказов в межремонтный период.

С другой стороны, внедряемые методы и способы оценки эксплуатационной надежности локомотивов, которые также подкреплены договорными отношениями, не обеспечивают достоверность прогнозирования фактического показателя к планируемому в текущих динамически меняющихся условиях эксплуатации локомотивов. Внедренные методы расчета, в том числе и тяговые характеристики локомотива дают возможность оценить работу некоторых элементов системы при жестко заданных условиях и критериях эксплуатации.

Соответственно одной из проблем повышения эксплуатационной надежности локомотива является решение задачи совершенствования способов оценки надежности локомотивов, исходя из динамически меняющихся условий эксплуатации и критериях, определяющих изменение условий эксплуатации в данный момент времени.

В настоящее время внедренные диагностические системы считывания параметров фактического состояния тяговых электродвигателей, силовых и низковольтных электрических цепей при эксплуатации локомотивов, в которых частично реализованы функции автоматизированного прогнозирования предотказного состояния оборудования с визуализацией на пульте машиниста сообщений о наличии риска возникновения отказа и мер по его исключению. Для поддержания показателей надежности локомотива на прогнозируемом уровне при минимальных затратах времени, труда и материалов, формирование перечня необходимых цикловых работ ТОиТР производится в следующем порядке: перед постановкой локомотива на техническое обслуживание и ремонт, анализируются результаты прогнозирования наступления предотказного состояния локомотивного оборудования, определяется перечень работ по техпроцессу исходя из параметров фактического пробега и выявленных замечаниях машинистов предыдущих периодов эксплуатации.

Анализируя мировые тренды развития локомотивных комплексов при анализе эксплуатационных показателей надёжности локомотивов применяются математические методы теории вероятности, теории статистики и надёжности, с помощью которых производится первоначальная обработка данных собранных в процессе эксплуатации локомотивов. В локомотивном комплексе РФ при анализе возможностей внедренных и внедряемых автоматизированных системах технического диагностирования основными методами реализации являются теории информации, информационных систем, автоматического управления, технико-экономическая оценка эффективности систем диагностирования произведена с помощью метода расчёта окупаемости инновационных проектов и имитационного моделирования технологических процессов относительно сервисных локомотивных депо. В основу систем поддержки принятия решений ТОиТР заложены цифровые технологии – «Цифровой двойник» и «Киберфизические производственные системы», а также оцифрованные бизнес-процессы моделей жизненного цикла с использованием систем диагностирования локомотива в период эксплуатации и учетом международных требований систем менеджмента качества и сервисного обслуживания ТПС.

Повышение надёжности оборудования локомотивов в условиях эксплуатации с применением цифровых технологий, которые позволят обеспечить достоверность прогнозирования фактического показателя к планируемому на основе использования методов интеллектуальной обработки диагностической информации встроенных средств бортовой диагностики необходимо определить следующие задачи:

1. Анализ текущего состояния проблематики использования диагностической информации для контроля технического состояния локомотивов при динамически изменяющихся условиях эксплуатации локомотивов.

2. Анализ разработанных методов применения интеллектуального классификатора состояния оборудования локомотива на основе матрицы экспертных знаний и результатов интеллектуальной обработки измерительной информации встроенных средств диагностики.

3. Анализ методов прогнозирования изменения фактического технического состояния оборудования локомотивов на основании интеллектуального анализа данных встроенных средств диагностирования.

Список источников

1. ГОСТ 27.002-2015. Надёжность в технике (ССНТ). Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016.

2. ГОСТ 32192-2013. Надёжность в железнодорожной технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2014.

3. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения; 3-е изд., пере-раб. и доп. М.: Академия, 2003.

4. Мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации локомотивов. Теория и практика / К. В. Липа, А. А. Белинский [и др.]. М.: Локомотивные технологии, 2015.

5. Цифровое депо – технологическая основа цифровой трансформации локомотивного комплекса / А.П. Семенов, О.С. Валинский, А.М. Лубягов, А.Н. Маврин, Д.В. Казарин // Железнодорожный транспорт. 2020. № 3.

6. Разработка киберфизической модели системы управления жизненным циклом локомотивов / А.П. Семенов, В.В. Семченко, И.К. Лакин / Локомотив. 2021. № 3

7. Аболмасов А.А. Управление техническим состоянием тягового подвижного состава в условиях сервисного обслуживания: дис. ... на соиск. уч. ст. канд. техн. наук: 05.22.07 / Аболмасов Алексей Александрович. М., 2017.

8. Виртуальный склад, как средство оптимизации запаса и расходования запасных частей в структуре сервисного обслуживания / А.Ю. Балакин, А.В. Курунов, Д.Я. Носырев и др. // Труды Второй международн. научн.-практ. конф. «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов». М.: ООО «Локомотивные технологии», 2015.

9. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог / Э.Д. Тартаковский, С.Г. Грищенко, Ю.Е. Калабухин, А.П. Фалендыш. Луганск: Из-во «Ноулижд», 2011.

10. Бочаров В.М., Кузнецов С.М. Использование информации АПК «Борт» для изменения периодичности технического обслуживания (ТО-3) и текущего ремонта маневровых тепловозов: тр. Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава. Омск: ОмГУПС, 2011.

© ЮРГПУ (НПИ), 2024

Научное издание

**Международная научная школа
«Zero Waste»
для молодых ученых, аспирантов и студентов**
Тезисы докладов
27.05.2024 г. – 01.06.2024 г.
г. Новочеркасск

Подписано в печать 01.08.2024
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Печать цифровая
Усл.-печ. л. 14,88. Уч.-изд. л. 16,0. Тираж 300. Заказ № 0108/2024.

Южно-Российский государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И. Платова

Издательство «НОК».
346430. Новочеркасск, ул. Дворцовая, 1.

Отпечатано в ООО НПП «НОК» 346430.
Новочеркасск, ул. Просвещения, дом 155 А
nok.company@gmail.com