



ISSN: 2686-7567

2022
№2(28)

ВЕСТНИК ГГТУ

Технические науки

| info@gstou.ru | www.gstou.ru



ISSN: 2686-7567

ВЕСТНИК ГГНТУ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

HERALD OF GSTOU
ENGINEERING SCIENCES

SCIENTIFIC & TECHNICAL JOURNAL

2022

Том XVIII

№ 2 (28)

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

д. т. н., профессор Минцаев Магомед Шавалович

Зам. главного редактора – д. т. н., профессор
С-А. Ю. Муртазаев

Ответственный секретарь – к. т. н., доцент
М. Ш. Саламанова

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель – профессор, д. ф.-м. н.
И. А. Керимов (АН ЧР)
д. т. н., профессор, член-корреспондент РАН
Б. А. Григорьев (ВНИИГаз)
д. т. н., профессор Д. С. Реченко (АГНИ)
к. т. н., доцент М. Я. Пашаев (ГГНТУ)
к. т. н., М. С. Сайдумов (ГГНТУ)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Строительство. Архитектура

д. т. н., профессор Д. К-С. Батаев
д. т. н., профессор Г. Н. Гаджишалапов
д. т. н., доцент И. Г. Гайрабеков
д. т. н., профессор Х. Н. Мажиев
канд. архитектуры, доцент Ш. А. Насуханов
д. т. н., профессор Т. А. Хежев

Химическая технология

д. т. н., доцент С. П. Иванов
д. т. н., профессор Л. Ш. Махмудова
д. х. н. Х. М. Кадиев
д. т. н., профессор Х. Х. Ахмадова
д. т. н., профессор О. Н. Каратун
д. х. н., профессор Э. А. Александрова
к. т. н., доцент А. А. Эльмурзаев

Информатика, вычислительная техника и управление

д. п. н., профессор Э. Д. Алисултанова
д. т. н., доцент И. Н. Ажмухамедов
д. т. н., профессор А. В. Илюхин
к. т. н. М. Р. Исаева
д. т. н., профессор В. И. Марсов
д. т. н., профессор К. Е. Румянцев
д. т. н., профессор А. Л. Рутковский
д. т. н., профессор Е. А. Хадзарагова
к. т. н., доцент И. В. Хасамбиев
д. т. н. М. А. Хажмурадов
к. т. н. З. Л. Хакимов

EDITOR – IN-CHIEF

Magomed Mintsaeв, Doctor in Engineering

Associate Editor – Said-Alvi Murtazaev, *Doctor
in Engineering*

Executive Secretary – Madina Salamanova, *PhD
in Engineering*

EDITORIAL COUNCIL

Chairman – Ibragim Kerimov, *Doctor in Physics
and Mathematics*

Boris Grigoryev, *corresponding member of RAS,
Doctor in Engineering*

Rechenko Denis, *Doctor in Engineering*

Magomed Pashaev, *Phd in Engineering*

Magomed Saidumov, *Phd in Engineering*

EDITORIAL BOARD

Construction. Architecture

Dena Bataev, *Doctor in Engineering*
Khadzhishalapov Gadzhimagomed, *Doctor in Engineering*
Ibragim Gayrabekov, *Doctor in Engineering*
Khasan Mazhiev, *Doctor in Engineering*
Shadid Nasukhanov, *PhD in Architecture*
Tolya Khezhev, *Doctor in Engineering*

Chemical Technology

Serguey Ivanov, *Doctor in Engineering*
Lyubov Makmudova, *Doctor in Engineering*
Khusain Kadiev, *Doctor in Chemistry*
Khava Akhmadova, *Doctor in Engineering*
Olga Karatun, *Doctor in Engineering*
Elvira Alexandrova, *Doctor in Chemistry*
Ayub Elmurzaev, *PhD in Engineering*

Computer Science, Computer Engineering and Management

Esmira Alisultanova, *Doctor in Pedagogics*
Iskandar Azhmukhamedov, *Doctor in Engineering*
Madina Isaeva, *PhD in Engineering*
Andrey Ilyukhin, *Doctor in Engineering*
Vadim Marsov, *Doctor in Engineering*
Konstantin Rumyantsev, *Doctor in Engineering*
Alexander Rutkovsky, *Doctor in Engineering*
Elena Khadzaragova, *Doctor in Engineering*
Manap Khazhmuradov, *Doctor in Engineering*
Ibragim Khasambiev, *PhD in Engineering*
Zaur Khakimov, *PhD in Engineering*

Учредитель: ФГБОУ ВО

«Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова»

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК Российской Федерации (с 15.02.2022г.), в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), доступный в интернете, по адресу <http://www.elibrary.ru> (Научная электронная библиотека).

Подписной индекс АО «Почта России» ПА 753

Адрес редакции/издателя:

364024, г. Грозный, пр. Х.А. Исаева, 100

Тел./факс: (8712) 29-59-32

<http://gstou.ru/science/ggntu-works.php>

e-mail: trudy-ggntu@mail.ru

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведенных сведений, точность данных по цитируемой литературе и за использование в статьях данных, не подлежащих открытой публикации. Редакция может опубликовать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора. Перепечатка и воспроизведение статей, рекламных и иллюстративных материалов возможны лишь с письменного разрешения главного редактора. Редакция не несет ответственности за содержание рекламы и объявлений.

© ФГБОУ ВО Грозненский государственный нефтяной технический университет
им. академика М.Д. Миллионщикова, 2022

© Редакционная коллегия

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- Алисултанова Э. Д., Исаева М. З., Пашаев М. Я., Асхабов Х. Х.**
Разработка мобильного приложения «Справочник абитуриента ГГНТУ»..... 5
- Хаджиева Л. К., Чадаева А. Б.**
Ключевые технологии шлюза безопасности конвергенции IOT 16
- Хасухаджиева Л. С-А., Алисултанова Э. Д., Рутковский А. Л.**
Основополагающие аспекты разработки автоматизированной платформы для создания анимационных роликов..... 24
- Хасцаев Б. Д., Хмара В. В., Аликов А. Ю., Марсов В. И., Суворов Д. Н.**
Дистанционный измеритель температуры с улучшенными характеристиками для автоматизированной системы управления технологическим процессом 33
- Хмара В. В., Хасцаев Б. Д., Кабышев А. М., Суворов Д. Н., Илюхин А. В.**
Особенности информационно-технического обеспечения автоматов мили единой разветвленной системы автоматизированного управления непрерывным технологическим процессом 41
- Чумычкин В. А., Галанина Н. А.**
Аппаратно-программная реализация внутренней шины обмена программируемого контроллера по последовательному каналу 53

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Рутковский А. Л., Бахтеев Э. М., Макоева А. М., Бутов Х. А.**
Моделирование газодинамических параметров шихты в процессе получения титановых окатышей с целью оптимизации 63
- Эльмурзаев А. А., Тарамов Ю. Х., Цамаева П. С.**
Содействие естественному полувисыханию нефтесодержащего шлама за счет изменения формы воды..... 72

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

- Лебедев Е. В., Зуров Б. А., Высоцкий М. М., Небрятенко Д. Ю.**
Оценка свойств дорожных вяжущих при низких температурах методом ABCD..... 81
- Нахаев М. Р., Аласханов А. Х.**
Физические процессы при электростатическом формовании изделий из фибробетона 90
- Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М. Ш.**
Исследование стойкости цементного камня на бесклинкерных вяжущих щелочной активации 98
- Шейна С. Г., Сайдумов М. С., Муртазаев И. С-А., Маслаков М. П.**
Комплексная органоминеральная добавка с использованием природного и техногенного сырья 108

ИНФОРМАЦИЯ

- Первый на Северном Кавказе карбоновый полигон открылся в Чеченской Республике 116

CONTENTS

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

E. D. Alisultanova, M. Z. Isaeva, M. Ya. Pashaev, Kh. Kh. Askhabov The mobile application «Handbook of the GSTOU applicant» development	5
L. K. Khadzhieva, A. B. Chadaeva Key technologies of the IOT convergence security gateway	16
L. A-S. Khasukhadzieva, E. D. Alisultanova, A. L. Rutkovsky Fundamental aspects of the automated platform development for creating animated videos	24
B. D. Khastsaev, V. V. Khmara, A. Yu. Alikov, V. I. Marsov, D. N. Suvorov Remote temperature meter with improved characteristics for automated control system of a technological process	33
V. V. Khmara, B. D. Khastsaev, A. M. Kabyshev, D. N. Suvorov, A. V. Ilyukhin Features of information and technical support of mealy machines of a unified branched automated control system of continuous technological process	41
V. A. Chumyckin, N. A. Galanina Hardware and software implementation of the PLC internal serial communication bus.....	53

CHEMICAL TECHNOLOGIES

A. L. Rutkovsky, E. M. Bakhteev, A. M. Makoeva, H. A. Butov Simulation of the gas-dynamic parameters of the charge in the process of obtaining titanium pellets for the purpose of optimization.....	63
A. A. Elmurzaev, Yu. Kh. Taramov, P. S. Tsamaeva Facilitating the natural semi-drying of oily siudge by changing the form of water.....	72

CONSTRUCTION. ARCHITECTURE

E. V. Lebedev, B. A. Zurov, M. M. Vysotsky, D. Yu. Nebratenko Assessment of the road binders properties at low temperatures by the ABCD method.....	81
M. R. Nakhaev, A. Kh. Alaskhanov Physical processes in electrostatic molding of fiber-reinforced concrete products	90
S-A. Yu. Murtazaev, M. Sh. Salamanova Study of the cement stone resistance on clinker-free binders of alkaline activation	98
S. G. Sheina, M. S. Saydumov, I. S-A. Murtazaev, M. P. Maslakov Complex organomineral supplement using natural and man-made raw materials.....	108

INFORMATION

The first carbon test site in the North Caucasus has opened in the Chechen Republic.....	116
---	-----

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.4

DOI: 10.34708/GSTOU.2022.27.15.001

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ «СПРАВОЧНИК АБИТУРИЕНТА ГГНТУ»

© Э. Д. Алисултанова, М. З. Исаева, М. Я. Пашаев, Х. Х. Асхабов

ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

В данной статье рассматривается возможность и эффективность внедрения и эксплуатации мобильного приложения в инфраструктуру информационных технологий ГГНТУ. Дается обзор существующих решений, который определяет три основных способа разработки кроссплатформенных приложений: нативная разработка (в зависимости от конкретной мобильной платформы), HTML разработка и гибридное решение, комбинирующее оба подхода. В статье выяснены плюсы и минусы такого подхода, а также описываются характерные особенности Мобильных приложений.

Ключевые слова: информационные технологии, мобильные приложения, распространение, статистика, разработка, программное обеспечение.

Информационная зависимость с каждым днем становится все более и более очевидным фактом для любого человека. Мы уже давно забыли, каково это – жить без телефона под рукой, без свободного доступа в интернет, без мессенджеров, что чуть ли не полностью заменили живое общение. Каждый день мы анализируем огромные потоки данных, будь то правдивой или ложной информации, и с течением времени этой информации только больше, а значит нужны новые способы и методики не только для хранения, но и ее обработки, и, очевидно, удобного доступа к ней.

Статистики с совершенно различных сайтов показывают, что мобильным устройством в России владеют 98% населения. Причины такого постепенного и, кажется, неизбежного перехода именно на мобильные устройства множество, но можно выделить несколько наиболее приметных: функционал, небольшой размер устройства, доступ ко всем способам связи. Так и вузам, в особенности таким современным, как ГГНТУ, следует постепенно перейти на мобильное обеспечение, ведь это не эквив-

валент компьютерным сайтам, а полноценное дополнение [7].

Приложение «Справочник Абитуриента» является совокупностью информационных блоков, что значительно облегчает абитуриенту процесс поступления и позволяет ему не только с легкостью определиться, на какой факультет он хочет поступить, но и вкратце рассказать, что из себя представляет сам вуз [3].

Мобильное приложение – это программное обеспечение, которое разработано для какой-либо конкретной мобильной платформы (iOS, Android, Windows Phone и др. (рис. 1)). Предназначено для применения на смартфоне, планшете, умных часах и иных мобильных устройствах.

Процесс создания мобильного приложения проходит в несколько этапов:

1) Прописать код на языке программирования высокого уровня;

2) Компиляция в машинный код операционной системы для максимальной производительности.



Рис. 1. Виды мобильных приложений

Согласно современным тенденциям, можно выделить три основных типа создаваемых мобильных приложений:

1. Нативные приложения (native), то есть специфические для какой-либо конкретной платформы: iOS, Android, Windows Phone и т. д. Это приложения прикладного типа, которые созданы и разработаны для использования на конкретной платформе или устройстве. Такой тип приложений, помимо множества иных преимуществ, отличается одной главной: они оптимизированы под конкретные операционные системы, а значит могут работать быстро и с высокой долей вероятности бесперебойно. Нативные приложения обладают отзывчивостью интерфейса и удобством его использования.

Нативные приложения создаются с помощью интегрированных сред разработки, которые, в свою очередь, предоставляют инструменты для воссоздания и отладки мобильных приложений [4].

2. Веб-приложения, то есть использующие стандартные веб-технологии: обычно это HTML5, JavaScript и CSS. Иначе говоря, это своего рода верстка различных сайтов, которые впоследствии будут интегрированы в среду мобильных приложений. Существуют также отдельные конструкторы, которые позволяют взять абсолютно любой сайт и «переделать» его в приложение. Несмотря на кажущуюся новизну этого метода, такой подход использу-

ется уже давно. Но на сегодняшний день, когда идет развитие магазинов приложений, этот подход приобретает большую актуальность и с точки зрения маркетингового характера.

Подобный метод помимо легкости и удобства своей реализации имеет ряд преимуществ, к примеру доступ к различным функциям, которые по обыкновению сокрыты за песочницей браузера и не имеют еще аналогов в веб-стандартах. Как пример: камера или доступ к адресной книге пользователя.

Среди минусов можно выделить то, что Веб-сайту нужен постоянный доступ в интернет. То есть без Интернет-соединения пользователь не сможет зайти в приложение, несмотря на уже скачанные на его мобильное устройство APK-файлы.

3. Гибридные приложения, которые получаются за счет внедрения HTML5 приложения внутрь нативного контейнера, что позволяет скомбинировать лучшие стороны обоих подходов [5].

Прежде чем приступить к разработке приложения «Справочник абитуриента», был проведен анализ существующих разработок. Цель подобного анализа – выявить основные потребности потенциальных пользователей приложения. Это самый первый шаг в разработке готового продукта, с которого начинается разработка любой системы. Разработчики должны: понимать основные потребности и определять их на основе того, что говорит заказчик;

определять цели своей деятельности; узнать основные задачи, которые решает заказчик; определить возможные варианты сущностей, с которыми нужно будет работать при решении проблемы. Проанализировав существующие решения, необходимо создать концептуальную схему информационной структуры, которая отражает общую идею разрабатываемой системы.

Рассмотрим некоторые из существующих разработок: [6]

СибГМУ Абитуриент

Мобильное приложение «Справочник абитуриента СибГМУ» представляет собой очень хороший пример продукта для реализации подобных решений. В приложении обозначены все основные критерии, которые могут быть интересны и нести информационную ценность для потенциальных студентов вузов (рис. 2).

Данное приложение вбирает в себя ряд инфо-блоков, такие как: новостная лента, календарная разметка подачи документов и т. д.

В новостной ленте отображается вся актуальная и важная информация, протекающая в стенах вуза. Начиная от экспресс-курсов и заканчивая данными о некоторых нюансах, необходимых при поступлении поступления.

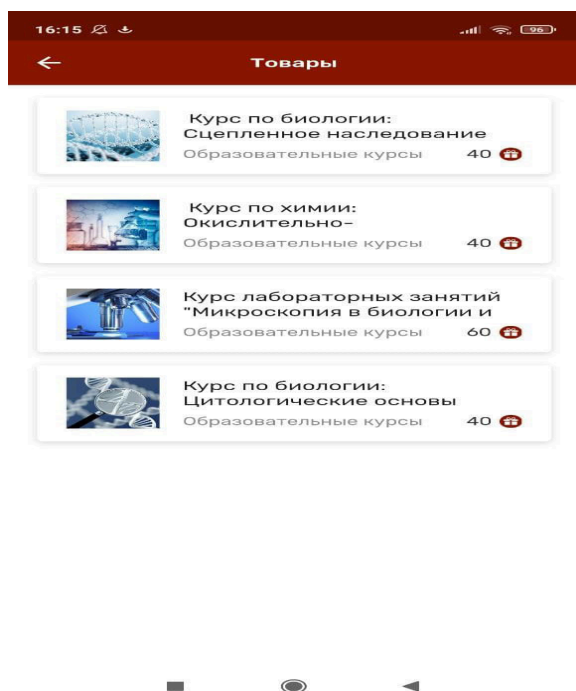


Рис. 3. Курсы, представленные в приложении СИБГУ

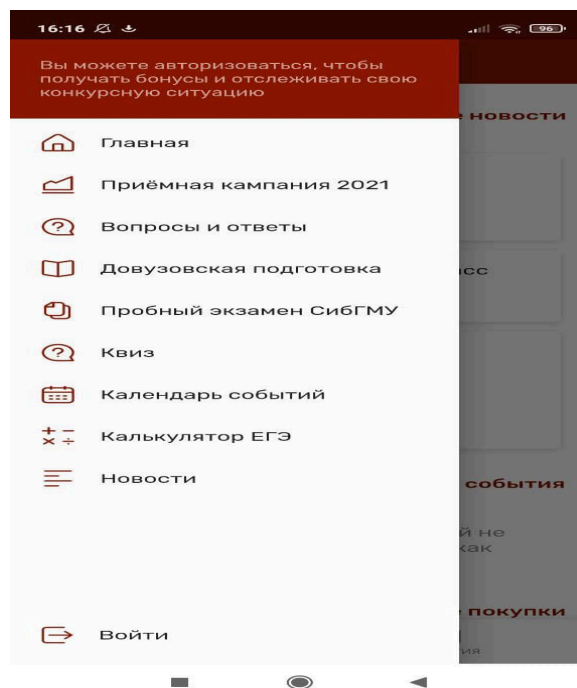


Рис. 2. СибГМУ Абитуриент

Дополнительным бонусом служит наличие в данном приложении платформы на базе СибГМУ, где размещены обучающие курсы (рис. 3).

Абитуриент МГТУ (Магнитогорский государственный технический университет)

Официальное мобильное приложение для абитуриентов Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.

Еще один пример приложения, которое позволяет абитуриентам получать информацию об образовательной организации высшего образования по широкому спектру показателей, заданной той или иной образовательной организацией (рис. 4).

Данное приложение предоставляет пользователям ряд возможностей, связанных с получением всей или практически всей необходимой информации.

Данное приложение предоставляет пользователям ряд возможностей, связанных с получением всей или практически всей необходимой информации.

Основные функции:

1. Оперативное получение информации о ходе приемной кампании, проводимых мероприятиях и актуальных событиях.

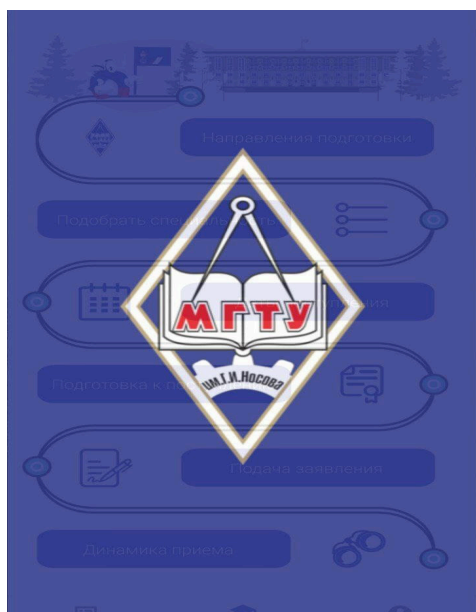


Рис. 4. Абитуриент МГТУ



Рис. 5. Доступные функции

2. Информирование о динамике приёма заявлений на различные направления подготовки.

3. Заявка на поступление в университет МГТУ им. Носова.

4. Просмотр списка поступающих и рейтинга абитуриентов.

5. Контактная информация и место нахождения на карте (рис. 5).

Разработка мобильного приложения, в зависимости от сложности его проектирования, а также входных данных, которые необходимо учитывать, может состоять из различного количества этапов.

Этапы создания мобильного приложения:

- аналитика;
- техническое задание;
- проектирование и дизайн;
- разработка;
- тестирование и отладка;
- поддержка и развитие.

Этап 1. Аналитика

Как и в разработке любого проекта, будь то приложение на компьютере, мобильном устройстве или любой другой платформе – все проекты начинаются с обыкновенной идеи. Зарождение идеи обязывает приступить к сбору аналитики и всей необходимой информации в исследуемой области.

В процессе выполнения данной работы был проведен сбор необходимой информации и проведение соответствующего анализа по данной теме.

Определена интегрированная среда разработки **Android Studio** на языке программирования **JAVA**. Из трех типов создаваемых приложений, описанных ранее (Гибридные, WEB и Нативные), был сделан выбор в сторону Нативных.

В качестве дополнительной программы для создания макета будущего приложения выбрано программное обеспечение **Adobe Photoshop CC 2018**.

В качестве основного источника информации (без учета Базы данных ГГНТУ) указан официальный сайт Университета (<https://www.gstou.ru/>). Именно с этого сайта черпается информация, преждевременно структурируя и фильтруя ее, тем самым отделяя данные, касающиеся только студентов, от тех, что интересуют абитуриентов [8].

Этап 2. Техническое задание

Этап, подразумевающий формирование требований к сервису. Иными словами, на данном этапе задается тот минимальный функционал, который необходим приложению для «жизни». Помимо этого, существуют требования к интерфейсу, безопасности и производи-

тельности. Описание, как именно будут реализованы все те или иные требования. Определяются общие сведения приложения, то есть: ее совместимость с другими платформами, масштабируемость и т. д. После того как было определено, при помощи каких инструментов будет формироваться приложение, необходимо приступить к «плану» реализации самого продукта при использовании тех самых инструментов (таблица 1).

Этап 3. Проектирование и дизайн

После того как работы с сервисной частью подошли к концу и представлена хотя бы примерная концепция самого приложения, можно перейти к выстраиванию шагов, направленных на повышение уровня удовлетворения клиентов. Происходит это путем преобразования сложных процессов в максимально простые и доступные к пониманию приложения, что функционирует без глюков и багов. Как итог, при этом этапе задаётся карта экранов, прототип приложения и отрисованные элементы интерфейса [2].

Для отрисовки этого самого интерфейса в виде макета будет использована программа Adobe Photoshop CC, как уже говорилось ранее. Запустив программу, мы приступаем к непосредственному началу работы визуального представления продукта и, разумеется, первым шагом станет представление заглавного экрана. Тот самый экран, который будет виден пользователю при первом запуске приложения на мобильных устройствах. Необходимо брать в расчет такие критерии, как максимальная простота и удобство, дабы пользователь не запутался в многочисленных

вкладках и уже с первого взгляда мог заметить разделы, необходимые именно ему. Так, используя широкий спектр инструментария данной программы, мы создаем заглавную страницу.

Таким образом прорабатывается основная карта экранов для дальнейшего рассмотрения этих изображений как макета приложения. Разумеется, нет надобности в строгом следовании именно такому стилю, если этого не требует сам заказчик, так что изменения возможны на протяжении всего процесса разработки приложения.

Этап 4. Разработка

Программирование или компиляция кода – один из главных и важнейших этапов в разработке приложения. И этап этот распределяется на Front end и Back end части [1].

Front end

Это публичная часть приложений (веб-сайтов), с которой пользователь может взаимодействовать и контактировать напрямую. Графический интерфейс создан с использованием HTML, CSS и JavaScript языков, чтобы пользователи могли просматривать и взаимодействовать с этими данными.

Back end

Программно-аппаратная часть сервиса. То, что не видит обычный пользователь, но вместе с тем является основной рабочей средой для самого разработчика. Любое приложение отображает данные, все эти данные хранятся на сервере. Именно в этом сервере и прописываются все коды программирования, последствия чего можно увидеть в графическом отображении [9, 10].

Таблица 1

Минимальный функционал:	Возможность быстрого и удобного просмотра информации, касающейся поступления (даты проведения приемной комиссии). Подбор направлений по результатам экзаменов (ЕГЭ, вступительных)
Платформа	Android с последующим переходом на кросс-платформу
Масштабируемость	Адаптация приложения под все виды мобильных гаджетов, а также все остальные электронные устройства с сенсорным экраном
Требования к безопасности	Защита он вредоносных программ, а также лишней спам-информации
Программа для верстки	Android Studio
Язык программирования	JAVA

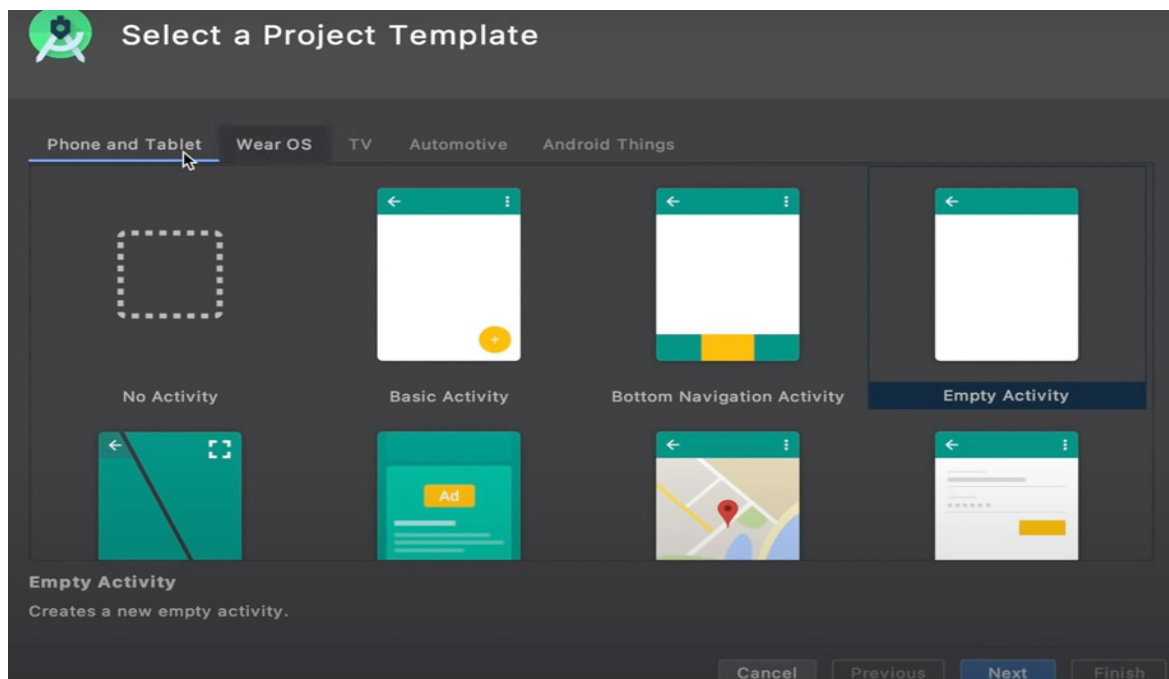


Рис. 6. Шаблоны

Самая трудная и трудоемкая работа заключается именно в этом этапе, так как после анализа и проектирования визуальной стороны будущего приложения необходимо приступить к самому коду.

Таким образом приступаем к использованию программы Android Studio. После предварительной установки и запуска программы создаётся новый файл, после чего данный продукт предлагает воспользоваться одним из уже существующих шаблонов, которые представлены в разных формах (рис. 6).

В процессе выполнения данной работы выбран (Empty Activity), то есть пустой слот, так как другие варианты предполагают присутствие уже заданных программой плагинов.

Следующим шагом программа предлагает задать для актива собственное имя, прописать путь, где будут в дальнейшем храниться все обработанные файлы, а также определить язык программирования и минимальный sdk (рис. 7).

После всех проделанных действий Android Studio загружает различные библиотеки и встроенные в саму программу плагины. В левой боковой панели можно найти обзорщик всех файлов, то есть здесь представлены полностью все те файлы, которые принадлежат

проекту. Внутри папки java находятся классы, некоторые из которых будут принадлежать и к классу с тестированием. Основной класс называется main activity, именно внутри этого файла прописывается вся функциональная часть, которая будет отвечать за все те действия, что будут происходить на главной странице приложения. В дальнейшем, когда будут разрабатываться другие страницы внутри приложения, заранее будет создан отдельный файл, который будет идти с решением xml.

Помимо папки java создана папка manifest с одним файлом и идентичным названием – manifest, и внутри этого файла записываются все те настройки, которые служат для корректного отображения приложения на каком-либо конечном устройстве. Здесь указывается: название приложения, иконка приложения и сцена, которая будет являться основной [8].

И еще одна, из уже встроенных самой программой, папка – res. Эта папка расшифровывается как resources, в ней хранятся различные ресурсы, которые находятся внутри проекта. Здесь могут быть различные xml-файлы, картинки, видео и аудиофайлы.

Также прописан код для главного экрана, где будут созданы соответствующие переходы

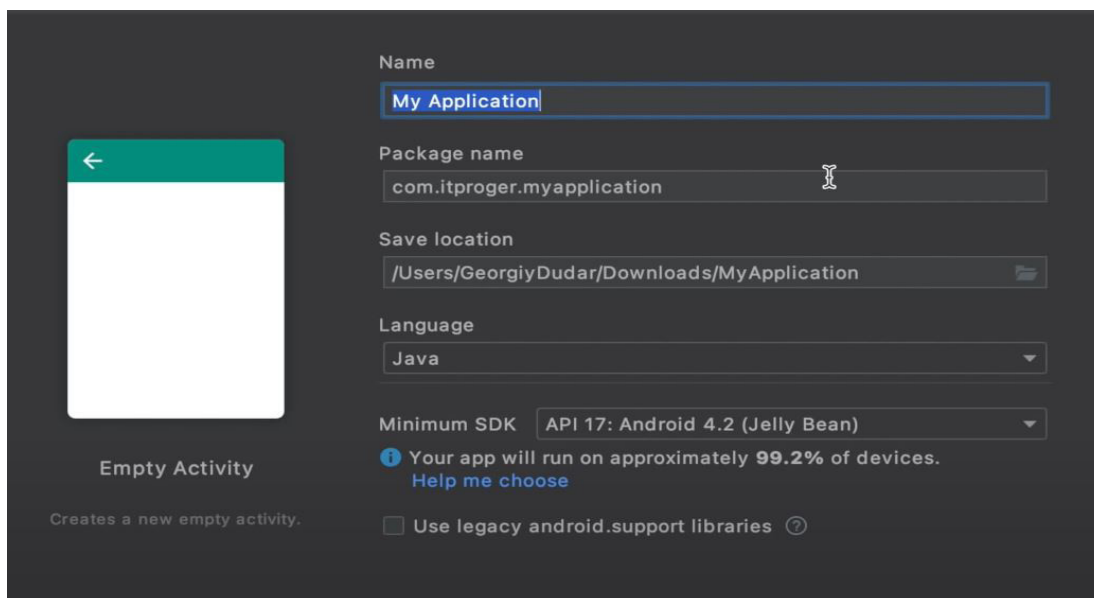


Рис. 7. Интерфейс программы после выполнения первого шага

в форме вкладок на другие страницы. Создан в папке java соответствующий файл с названием MainActivity, где прописывается код на кнопку для входа в логин.

Таким образом, эти файлы отвечают за алгоритм построения и обработки переходов по приложению. Верстка макета происходит через xml в папке layout. Благодаря встроенным плагинам можно увидеть вводимые в разработку изменения в режиме онлайн, что значительно упрощает процесс создания приложения.

Основные страницы

Лента – При переходе по соответствующей иконке (журнал) мы можем попасть на вкладку с новостной лентой, где, в свою очередь, можно задать интересующие вопросы, узнать последние изменения в приемной кампании, рейтинг актуальных направлений, а также другие свежие и важные новости, связанные с Университетом (рис. 1.9).

Абитуриент – Отдельный блог с необходимой информацией, такой как подбор специальностей согласно заданным данным, результаты прошедших тестирований, сроки проведения приемной комиссии. (Подбор специальностей, результаты тестирования и т. п.) (рис. 10).

Этап 5. Тестирование и отладка

Для тестирования приложения на платформе Android Studio существуют встроенные плагины, которые позволяют провести отладку и проверку на наличие различных неполадок. Студия позволяет отлаживать приложения на эмуляторе и на реальных устройствах. Можно просматривать системный журнал логов, устанавливать контрольные точки, проверять значения переменных и вычислять выражения во время работы, делать скриншоты и видеозаписи [11, 12].

На этой стадии можно выложить APK-файлы, то есть само приложение на одну из платформ, где потенциальные пользователи смогут

```
findViewById(R.id.login_image_button).setOnClickListener(view -> {
    Intent intent = new Intent(packageContext: this, LoginActivity.class);
    startActivity(intent);
});
```

Рис. 8. Код входа в логин

скачать и пользоваться новым продуктом. В зависимости от типа приложения, его следует выложить на соответствующую платформу. (Android в Google Play, а iPhone в App Store).

Этап 6. Поддержка и развитие

Даже после конечной стадии программирования и полного завершения разработки необходимо следить за тем, чтобы все корректно работало с технической стороны: серверы выдерживали нагрузки, баги быстро устранялись. Помимо такого рода поддержки приложения следует предпринимать соответствующие шаги в его развитии, по мере того как пользователи будут скачивать продукт и пользоваться им. С возрастанием запросов пользователей, очевидно, появятся потребности в доработке приложения, а значит могут зародиться новые баги. Для этого, согласно с отзывами пользователей, необходимо поддерживать бесперебойную работу и развивать приложение [13, 14].

В данной статье рассматривается и реализуется технологическая архитектура для разработки нативных приложений с динамической структурой и информационным наполнением. Анализ показывает, что нативные приложения превосходят HTML5 и гибридные типы разработок, однако все кроссплатформенные ана-

логи такого вида предусматривают непосредственную разработку мобильного приложения, то есть написание программного кода [15].

«Справочник абитуриента ГГНТУ» – это мобильное приложение, позволяющее абитуриентам получать информацию об образовательной организации высшего образования по широкому спектру показателей, верифицированных самой образовательной организацией (ГГНТУ). В приложении есть возможность создания личного кабинета, который адаптирует контент портала под запросы пользователя за счет сохранения поисковых запросов, списка избранного, личных данных и баллов за соответствующие предметы.

Таким образом, данный продукт хоть и не является полноценным эквивалентом того же WEB-сайта, но может служить полноценным дополнением.

В процессе выполнения данной работы были решены следующие задачи:

- проведено ознакомление с предметной областью;
- проведен анализ существующих образовательных платформ;
- проведено ознакомление с технической реализацией проекта;



Рис. 9. Новостная лента

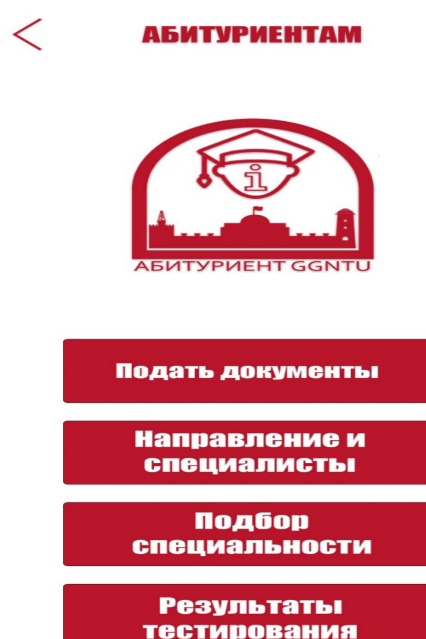


Рис. 10. Страницы с переходами

- изучены настройки и функции платформы;
 - определена платформа для работы приложения;
 - прописан код для приложения;
 - приложение доступно для эксплуатации.
- Все поставленные перед выполнением работы задачи – решены. Цель достигнута.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Соколова В.В.* Разработка мобильных приложений: учебное пособие / *Соколова В.В.* Томск: Томский политехнический университет, 2017. 176 с. ISBN 978-5-4387-0369-3. Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34706.html> (дата обращения: 15.06.2021).
2. *Брылёва А.А.* Программные средства создания интернет-приложений: учебное пособие. Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2019. 380 с. ISBN 978-985-503-934-2. Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/94327.html> (дата обращения: 14.06.2021).
3. *Пирская Л.В.* Разработка мобильных приложений в среде Android Studio: учебное пособие. Ростов-на-Дону, Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2019. 123 с. ISBN 978-5-9275-3346-7. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. Available at: URL: <http://www.iprbookshop.ru/100196.html> (дата обращения: 15.06.2021).
4. Официальный сайт ГГНТУ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gstou.ru/> (дата обращения: 17.06.2021).
5. Hibernate [Электронный ресурс] / Hibernate компания разработчик Enterprise решений для языка Java. Режим доступа <http://hibernate.org>, свободный (дата обращения: 12.06.2021).
6. Javaassist [Электронный ресурс] / Javaassist портал описания библиотеки. Режим доступа <http://www.csg.ci.i.utokyo.ac.jp/~chiba/javassist/>, свободный (дата обращения: 10.06.2021).
7. Этапы создания мобильного приложения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vc.ru/dev/146268-etapy-sozdaniya-mobilnogo-prilozheniya-proektirovanie-dizayn-i-razrabotka> (дата обращения: 11.06.2021).
8. Дизайн мобильных приложений [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://turumburum.ua/blog/dizayn-mobilnykh-prilozheniy-protsess-razrabotki-i-etapy-proektirovaniya/> (дата обращения: 13.06.2021).
9. Как сделать приложение для Android самостоятельно [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://habr.com/ru/hub/android_dev/ (дата обращения: 24.06.2021).
10. *Минцаев М.Ш., Хакимов З.Л., Лабазанов М.А.* Программирование логических контроллеров фирмы SIEMENS // Лабораторный практикум. Грозный, 2021.
11. *Алисултанова Э.Д., Хаджиева Л.К., Исаева М.З.* ПрофорIENTATIONная школьная лаборатория по основам кибербезопасности в сфере интернет вещей (ИОТ) // Вестник ГГНТУ. Гуманитарные и социально-экономические науки. 2019. Т. 15. №4 (18). С. 51-58.
12. *Алисултанова Э.Д., Тасуева Х.Х.* Особенности и формы в образовании // Вестник ГГНТУ. Гуманитарные и социально-экономические науки. 2019. Т. 15. №1 (15). С. 68.
13. *Моисеенко Н.А., Темирова А.Б.* Научное образование как основа формирования инновационной компетентности в условиях цифровой трансформации общества // Вестник ГГНТУ. Гуманитарные и социально-экономические науки. 2022. Т. 18. №1 (27). С. 60-66.
14. *Моисеенко Н.А., Алисултанова Э.Д., Албакова А.А.* Использование информационных систем для оценки научной деятельности преподавателей вуза // Управление образованием: теория и практика. 2021. №6 (46). С. 19-27.

THE MOBILE APPLICATION “HANDBOOK OF THE GSTOU APPLICANT» DEVELOPMENT

© E. D. Alisultanova, M. Z. Isaeva, M. Ya. Pashaev, Kh. Kh. Askhabov
GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Russia, Grozny

This article changes the possibility and efficiency of the introduction and use of mobile applications in the information technology infrastructure of universities. The idea that it is necessary to implement a technological architecture for the development of native applications with a dynamic structure and content is substantiated. A comparison is given, an overview of existing solutions, which defines three main ways to develop cross-platform applications: native development (depending on the specific mobile platform), HTML development and a hybrid solution that combines both approaches. The analysis shows that native applications are superior to HTML5 and hybrid types of development, however, all cross-platform analogues of this type provide for the direct development of a mobile application, that is, writing program code. The article clarifies the pros and cons of this approach, and also describes the characteristic features of Mobile Applications.

Keywords: information technology, mobile applications, distribution, statistics, development, software.

REFERENCES

1. Sokolova, V. V. (2017) *Razrabotka mobil'nykh prilozhenii: uchebnoe posobie / Sokolova V.V. Tomsk: Tomskii politekhnicheskii universitet. [Development of mobile applications: tutorial Tomsk: Tomsk Polytechnic University]*, 176 p. ISBN 978-5-4387-0369-3. Electronic library system IPR BOOKS: available at: <http://www.iprbookshop.ru/34706.html> (Accessed: 15.06.2021).
2. Bryleva, A. A. (2019) *Programmnye sredstva sozdaniya internet-prilozhenii: uchebnoe posobie. Minsk: Respublikanskii institut professional'nogo obrazovaniya. [Software tools for creating Internet applications: a tutorial. Minsk: Republican Institute of Vocational Education (RIPO)]*, 380 p. ISBN 978-985-503-934-2. Electronic library system IPR BOOKS, available at: <http://www.iprbookshop.ru/94327.html> (Accessed: 14.06.2021).
3. Pirskaaya, L. V. (2019) *Razrabotka mobil'nykh prilozhenii v srede Android Studio: uchebnoe posobie. [Development of mobile applications in the Android Studio environment: tutorial]. Southern Federal University Press, Rostov-on-Don, Taganrog, 123 p. ISBN 978-5-9275-3346-7. Electronic library system IPR BOOKS: [website]. Available at: <http://www.iprbookshop.ru/100196.html> (Accessed: 15.06.2021).*
4. Official website of GSTOU [Electronic resource], available at: <https://gstou.ru/> (Accessed 17.06.2021).
5. Hibernate [Online] / Hibernate is a developer of Enterprise solutions for the Java language. Access mode <http://hibernate.org>, free (Accessed: 12.06.2021).
6. Javaassist [Online] / Javaassist library description portal, available at: <http://www.csg.ci.i.utokyo.ac.jp/~chiba/javassist/>, free (Accessed: 10.06.2021)
7. Etapy sozdaniya mobil'nogo prilozheniya [Stages of creating a mobile application] [Online], available at: <https://vc.ru/dev/146268-etapy-sozdaniya-mobilnogo-prilozheniya-proektirovanie-dizayn-i-razrabotka> (Accessed: 11.06.2021).
8. Dizain mobil'nykh prilozhenii [Design of mobile applications] [Online], available at: <https://turumburum.ua/blog/dizayn-mobilnykh-prilozheniy-protsess-razrabotki-i-etapy-proektirovaniya/> (Accessed: 13.06.2021).
9. Kak sdelat' prilozhenie dlya Android samostoyatel'no [How to make an Android application yourself] [Online] available at: https://habr.com/ru/hub/android_dev/ (Accessed: 24.06.2021).

10. Mintsayev, M. Sh., Khakimov, Z. L. and Labazanov, M. A. (2021) Programmirovaniye logicheskikh kontrollerov firmy SIEMENS. Laboratornyi praktikum. [Programming logic controllers from SIEMENS. Laboratory workshop]. Grozny.
11. Alisultanova, E. D., Khadzhieva, L. K. and Isaeva, M. Z. (2019) 'Proforientatsionnaya shkol'naya laboratoriya po osnovam kiberbezopasnosti v sfere internet veshchei (IOT)'. *Vestnik GGNTU. Gumanitarnye i sotsial'no-ekonomicheskie nauki*. [Vocational guidance school laboratory on the basics of cybersecurity in the field of the Internet of things (IOT). Herald of GSTOU. Humanitarian, social and economical sciences]. V. 15. №4 (18). Pp. 51-58
12. Alisultanova, E. D. and Tasueva, H. Kh. (2019) 'Osobennosti i formy v obrazovanii'. *Vestnik GGNTU. Gumanitarnye i sotsial'no-ekonomicheskie nauki*. [Features and forms in education. Herald of GSTOU. Humanitarian, social and economical sciences]. V. 15. №1 (15). S. 68.
13. Moiseenko, N. A. and Temirova, A. B. (2022) 'Nauchnoe obrazovanie kak osnova formirovaniya innovatsionnoi kompetentnosti v usloviyakh tsifrovoi transformatsii obshchestva'. *Vestnik GGNTU. Gumanitarnye i sotsial'no-ekonomicheskie nauki*. [Scientific education as the basis for the formation of innovative competence in the context of the digital transformation of society. Herald of GSTOU. Humanitarian, social and economical sciences]. V. 18. №1 (27). Pp. 60-66.
14. Moiseenko, N. A., Alisultanova, E. D. and Albakova A. A. (2021) 'Ispol'zovanie informatsionnykh sistem dlya otsenki nauchnoi deyatelnosti prepodavatelei vuza'. *Upravlenie obrazovaniem: teoriya i praktika*. [The use of information systems to assess the scientific activities of university teachers. Education Management: Theory and Practice]. №6 (46). Pp. 19-27.

КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ШЛЮЗА БЕЗОПАСНОСТИ КОНВЕРГЕНЦИИ ИОТ

© Л.К. Хаджиева, А.Б. Чадаева

ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

Данная статья посвящена исследованию наиболее значимых технологий шлюза безопасности конвергенции Интернета вещей. Шлюз является важной технической составляющей Интернета вещей, занимая ключевую позицию связующего звена между сенсорной сетью и традиционной коммуникационной сетью. В рамках этого направления исследований рассмотрены основные сетевые технологии, такие как технология многорежимной связи, технология передачи данных через шлюз, технология надежных вычислений, технология обработки данных, технология шлюза с низким энергопотреблением. В статье также дано подробное рассмотрение протокола Modbus промышленного контроллера и внедрение агрегированного шлюза безопасности Интернета вещей на основе протокола Modbus, сделан обзор связанных исследований и технологий безопасности передачи данных через шлюз. При этом сделан также акцент на энергосберегающий алгоритм маршрутизации оверлейной сети шлюза и механизм пробуждения шлюза из сна для обеспечения работы сети.

Ключевые слова: Интернет вещей, передача данных, шлюз безопасности, протокол Modbus, одноранговая сеть, оверлейная сеть.

Сущность сети в основном отражается в трех аспектах: во-первых, характеристики Интернета вещей (IoT), то есть объекты, которые необходимо подключить к Интернету, должны быть в состоянии обеспечить взаимосвязь. Во-вторых, идентификационные и коммуникативные характеристики, то есть «вещи», включенные в Интернет вещей, должны иметь функцию автоматической идентификации и связи между ними, то есть сетевая система должна обладать характеристиками автоматизации, обратной связи и интеллектуального управления. Отраслевую цепочку IoT можно разделить на восприятие, обработку и передачу информации. Существует три звена: ключевыми технологиями каждого звена являются сенсорная технология, технология интеллектуальной обработки информации и технология сетевой передачи.

С широкомасштабным применением беспроводных датчиков сетевые технологии беспроводных датчиков привлекают все больше и больше внимания, в связи с чем Интер-

нет-технологии играют очень важную роль в период стремительного развития Интернета вещей и станут связующим звеном между сетью восприятия и традиционной коммуникационной сетью, так как шлюзы IoT могут осуществлять преобразование протоколов между сетями восприятия и сетями связи, а также различными типами сетей восприятия. Кроме того, шлюз IoT также имеет функцию управления устройством, и операторы могут использовать устройство шлюза IoT для управления каждым узлом на нижнем уровне, воспринимать соответствующую информацию о каждом узле и осуществлять дистанционное управление. Узел беспроводного датчика собирает соответствующую информацию о данных и отправляет данные на шлюз посредством беспроводной многоступенчатой самоорганизации. Система считывает информацию и отправляет на шлюз. Шлюз, в свою очередь, отправляет данные на сервер, где информация обрабатывается, хранится, а также предоставляет данные на информационную платформу [1].

Обзор связанных исследований. Являясь ядром всей сети, шлюз IoT может реализовывать взаимодействие сети датчиков и сети связи, а также протоколы между различными типами сетей датчиков.

С широкомасштабным применением беспроводных датчиков сетевые технологии беспроводных датчиков привлекают все больше и больше внимания, в связи с чем было предложено множество протоколов маршрутизации, но при этом нет четкого метода классификации протоколов маршрутизации. Многие приложения, очень восприимчивые к характеристикам сетей, в связи с этим используются следующие виды протоколов маршрутизации: ориентированные на данные, протоколы маршрутизации на основе кластера, на основе местоположения, на основе моделей потоков данных и QoS, а также надежные протоколы маршрутизации. Общий метод заключается в рассмотрении топологической структуры сенсорной сети и разделении протоколов маршрутизации на две категории: протоколы плоской маршрутизации и кластерные протоколы маршрутизации.

В последние годы появилось много новых протоколов маршрутизации и методов проектирования сенсорных сетей. Например, ис-

пользуя метод оптимизации трафика в теории графов для выбора маршрутизации, объединение архитектуры протокола уровня MAC и уровня маршрутизации с использованием технологии межуровневой оптимизации, в первую очередь для экономии энергии [2].

В Интернете вещей большое количество датчиков собирает данные на шлюз, в результате чего некоторым узлам шлюза необходимо передавать большие объемы данных в Интернет за короткий период времени, что приводит к перегрузке сети. Технология одноранговой сети шлюза в сочетании с технологией наложенной сети, то есть построение логической сетевой структуры на уровне IP для того, чтобы решить эту проблему. Программный модуль на шлюзе обычно используется для построения сети прикладного уровня и реализации технологии маршрутизации и распределенной передачи прикладного уровня. Сетевая модель наложенной сети сетевого шлюза показана на рисунке 1.

Для построения такой сети можно использовать маршрутизаторы Cisco. Особенности данного решения: простота включения в сеть оператора благодаря наличию моделей с портами Ethernet, SHDSL и ADSL, интегрированные Ethernet-порты, простота установки, использования и возможность дистанционного управления с помощью доступных через сеть инструментов, готовность к внедрению дополнительных сервисов – таких как IP-телефония и видеонаблюдение.

Сеть, построенная по данной схеме, обеспечивает надежную и защищенную работу корпоративных приложений и сервисов, таких как электронная почта, платежные терминалы и т. д. Рассмотренное решение обеспечивает базовые сервисы, а при необходимости подключения дополнительных функционалов поверх базовой сети предоставляет возможности развернуть новые сервисы в целях повышения эффективности и управляемости бизнес-процессов [3].

В среде Интернета вещей сосуществуют несколько режимов связи,

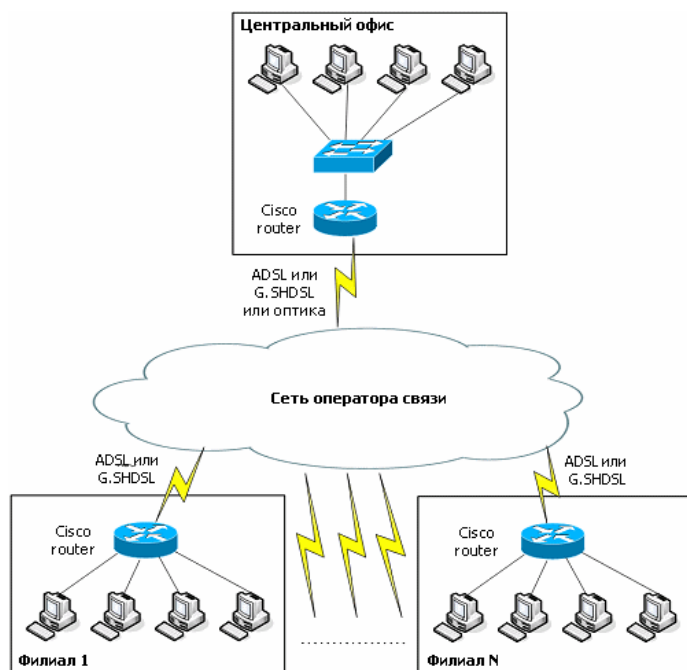


Рис. 1. Диаграмма сетевой модели наложенной сети [3]

таких как WiFi, ZigBee и 3G, LTE, в связи с чем возникает необходимость адаптации к требованиям различных типов продуктов.

Программное радио является основой для реализации многорежимной связи и адаптации. Программное радио делает упор на открытое и простое оборудование в качестве общей платформы, реализацию функций радио с различным прикладным программным обеспечением, можно максимально модернизировать и переконфигурировать.

Основная задача заключается в построении гибкой сети, которая представляет собой открытую, стандартизированную и модульно общую аппаратную платформу. Для ее создания необходимо установить рабочую полосу частот, формат данных, режим шифрования. Различные функции в такой сети, такие как протоколы связи, выполняются программным обеспечением. Если рассмотреть программное обеспечение для определения возможностей беспроводной сети, мы убедимся, что система программного обеспечения включает в себя различные правила беспроводной сигнализации и обработки: программное обеспечение для управления, для преобразования потока сигналов, для исходного кодирования, для кодирования с исправлением ошибок канала, для алгоритмов модуляции и демодуляции.

Технология безопасности, внедряемая в данной разработке, обеспечивает безопасность передаваемого контента и безопасность связи, применяя криптографическую технологию и собственные протоколы криптографической безопасности. Передаваемые файлы и данные проходят поэтапно процедуры: цифровую подпись, цифровую проверку, проверку подписи данных и другие средства безопасности для обеспечения целостности файла и передачи данных. Данная технология включает в себя безопасность на уровне канала и безопасность контента [4].

Технология аппаратного шифрования VPN используется на уровне канала, а протокол связи разработан поверх TCP/IP, при этом частный протокол обмена данными формируется с использованием TLV. Контентная безопасность включает в себя мониторинг порядкового номера потока задач, типа задачи, содержимого

и параметров времени. Данная технология выбирает соответствующий метод передачи (блок или короткое сообщение) и метод кодирования в соответствии с содержимым интерактивных данных.

Решение проблемы взаимного доверия основывается на выделении сущностного сегмента, содержащего информацию об идентификации пользователя, информацию об открытом ключе пользователя и цифровую подпись агентства по проверке личности. Согласно требованиям, обмен данными между центром безопасности и отделом мониторинга строится на принципе обеспечения целостности [5].

Целью надежных вычислений является защита критически важных данных в информационных системах, решение все более серьезных проблем компьютерной безопасности и повышение эффективности вычислительных ресурсов. ТСРА (Альянс надежных вычислительных платформ) впервые предложил концепцию надежной вычислительной платформы, и ее основная теория основана на аппаратном обеспечении и стандартизации программного обеспечения для защиты от программных атак и обеспечения безопасности данных.

Конкретная реализация надежной вычислительной платформы осуществляется через текущую вычислительную платформу путем добавления нового оборудования и программного обеспечения. TCG разработала ряд технических спецификаций для определения стандартного поведения и функций этих компонентов, в том числе включая основную спецификацию TCG. Trusted Platform Module предназначен для хранения ключей, паролей, и это микроконтроллер для цифровых сертификатов, который может обеспечивать надежные криптографические функции и обычно интегрируется в материнскую плату.

Соединение Trusted Network Connect (TNC), предложенное TCG, в основном направлено на решение проблем безопасности существующей сети. Это открытая архитектура решения сетевой безопасности. Данная архитектура помогает сетевым администраторам внедрять определенную политику безопасности для обеспечения подключения к сети. На шлюзе информация, собранная сенсорными

узлами, объединяется и обрабатывается для получения более эффективных и удобных для пользователя данных, что может снизить потребность в сети. Таким образом, объем передаваемых данных в сети может быть уменьшен. Чтобы уменьшить потребление связи и продлить жизненный цикл сети, данная технология использует архитектуру обработки модуля объединения данных. Для предварительной обработки массивных данных Интернета вещей модуль завершает набор данных [6].

Масштабы Интернета вещей и количество узлов огромны, а проблема энергопотребления сети становится все более серьезной. Для снижения энергопотребления можно использовать:

1. Протокол маршрутизации наложенной сети шлюза с низким энергопотреблением, который выбирает оптимизированный путь передачи для пакета. Совокупный трафик нагрузки на часть ссылки или в устройствах неиспользуемые каналы или устройства отключены, или бездействуют для экономии энергопотребления сети, но сеть необходимо учитывать при объединении.

2. Внедрить многоуровневый механизм сна-пробуждения. Механизм пробуждения и глубина сна в разных состояниях сна различны. По мере увеличения глубины сна соответственно снижается его энергопотребление, а шлюзы и другие системные устройства в разных регионах будут иметь разное время.

3. Проектирование и внедрение шлюза безопасности IoT промышленного управления на базе Modbus – элементами защиты IoT в этом случае также являются доступность, конфиденциальность, идентифицируемость и управляемость, что может сформировать систему безопасности IoT [7].

Рассмотрим протокол связи для контроллера и управления связи, по данному протоколу контроллеры могут связываться с контроллерами и другими устройствами по сети. Открытость, расширяемость и стандартизация протокола связи делают его общепромышленным стандартом. Протокол Modbus можно легко и надежно подключить к промышленной сети для централизованного мониторинга системы, в том числе может применяться и между

программируемым логическим контроллером (ПЛК), поддерживающим протокол Modbus, между персональными компьютерами, между удаленными ПЛК [8].

Modbus широко используется и является одним из самых популярных протоколов промышленного управления, поскольку имеет широкую базу приложений. Одним из преимуществ Modbus является отсутствие необходимости в специальных интерфейсных контроллерах, простота программной реализации и элегантность принципов функционирования. Все это снижает затраты на освоение стандарта как системными интеграторами, так и разработчиками контроллерного оборудования.

В России Modbus по распространенности конкурирует только с Profibus. Популярность протокола в настоящее время объясняется, прежде всего, совместимостью с большим количеством оборудования, которое имеет протокол Modbus. Кроме того, Modbus имеет высокую достоверность передачи данных, связанную с применением надежного метода контроля ошибок. Modbus позволяет унифицировать команды обмена благодаря стандартизации номеров (адресов) регистров и функций их чтения-записи. Протокол имеет два режима передачи: RTU и ASCII. По сравнению с протоколом RTU протокол MODBUS ASCII имеет начальный и конечный маркеры, а MODBUS RTU – нет, поэтому обработка пакетов данных в программе протокола ASCII может быть удобнее. MODBUS ASCII передает все видимые символы ASCII, поэтому оно более интуитивно понятно на этапе отладки, а его программу проверки LRC также легче написать, это преимущества MODBUS ASCII. Основным недостатком MODBUS ASCII является низкая эффективность передачи, поскольку он передает все видимые символы ASCII. Для каждого байта данных, передаваемых RTU, если используется ASCII, байт должен быть разделен на два бита. Поскольку в протоколе ASCII есть начальная метка и конечная метка, интервал передачи данных может быть больше 1 секунды, а в режиме MODBUS RTU, поскольку начальная и конечная метки не указываются, протокол предусматривает, что каждый интервал времени между передачей или приемом двух байтов

не может превышать 3,5-кратное время передачи символа. Если временной интервал между двумя символами превышает время передачи символа в 3,5 раза, считается, что кадр данных принят, и начинается новый кадр передачи данных, поэтому существует требование времени для интервала передачи между двумя байтами в Режим РТУ. Это различие между протоколами ASCII и RTU MODBUS может привести к тому, что в некоторых приложениях может использоваться только один из протоколов [9].

Система Untangle поддерживает различные функции, такие как фильтрация спама, блокировка URL-адресов, антивирусный червь, обнаружение вторжений. УTM-устройства реализуют в данном случае технологии межсетевого экрана фильтрации, шлюза прикладного уровня, шлюза уровня схемы и проверки состояния сетевых пакетов, а также шлюза уровня схемы.

Система для достижения изоляции внутренних и внешних сетей. Система Untangle представляет собой прокси-модель, основанную на потоковой обработке. Система Untangle объединяет компоненты с открытым исходным кодом, а также использует функцию IPtables системы Linux, а модуль IPtables имеет функцию фильтрации сетевых пакетов и межсетевого экрана, Untangle также является брандмауэром для проверки состояния сетевых пакетов с собственными функциями защиты от атак. Система Untangle в основном состоит из следующих частей: система Debian-Linux, комбинация Linux-UVM, UVM и полнофункциональные компоненты, веб-интерфейс и система баз данных [10].

Модуль защиты протокола Modbus предоставляет протокол Modbus, определяющий простой блок данных (PDU), который не зависит от низлежащего уровня связи на определенной шине или сети. Отображение протокола Modbus позволяет ввести некоторые дополнительные поля в блок данных приложения (ADU). Служба обмена сообщениями Modbus обеспечивает связь клиент/сервер между устройствами, подключенными через Ethernet в сети TCP/IP [11, 12].

Модуль защиты протокола Untangle-Modbus использует хороший объектно-ориен-

тированный дизайн, и все компоненты приложения безопасности на платформе Untangle называются узлами.

Новые приложения безопасности можно легко разрабатывать на платформе Untangle и быстро развертывать. Untangle основан на TcpSession, который позволяет реализовывать необходимые расширения протокола на прикладном уровне.

Выводы. Из-за все более широкого применения Интернета вещей и взрывного роста масштабов данных датчикам необходимо агрегировать большой объем информационных данных на шлюз, в результате узлу шлюза необходимо за короткое время передать через сеть массив данных в центр сбора данных, что может привести к перегрузке сети. Для этого необходимо улучшить возможности обработки данных шлюза и решить проблему перегрузки сетевой передачи между шлюзом и центральным сервером [13].

В статье рассмотрен Интернет вещей на основе соответствующей технологии односторонней сети, на прикладном уровне которой строится логическая сеть на основе шлюза – оверлейная сеть шлюза, и предлагаются маршрутизация и передача в оверлейной сети шлюза. В статье показан механизм балансировки нагрузки, который может эффективно решить проблемы надежной передачи больших объемов данных и контроля перегрузки шлюза. Платформа, основанная на надежных вычислительных технологиях и криптографическом приложении, является основным сетевым модулем, несущим ответственность за подтверждение подлинности сенсорных узлов и шлюзов, за предотвращение присоединения вредоносных узлов шлюза для обеспечения безопасного сбора и контроля данных [14].

Механизм стимулирования доверия для передачи данных в предложенной сетевой модели IoT сочетается с сетевой технологией шлюза для обеспечения доверия шлюза управления. Для обеспечения безопасности всей виртуальной сети шлюза предложена схема оптимального установления сети каналов передачи в соответствии с различными уровнями безопасности данных. Рекомендована сетевая передача данных в сочетании с оверлейной

сетью шлюза, а также энергосберегающий алгоритм маршрутизации оверлейной сети шлюза и механизм пробуждения шлюза из сна для обеспечения эффективности работы сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хаджиева Л.К., Хаджиев М.Р., Исрахимова А.Т. Концепция систем ИОТ для сельскохозяйственных услуг с высокой степенью автономии // Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XVII. №3 (25). Грозный, 2021.
2. Хаджиева Л.К., Хаджиев М.Р., Хашумов И.У. Перспективы внедрения технологии 5G и взаимодействие с системой «УМНЫЙ ДОМ» // Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XVII. №4 (26). Грозный, 2021.
3. <https://www.osp.ru/lan/2010/11/13005564>
4. Хашумов И.У., Хаджиев М.Р., Мальцагов Х.Х. Информационная безопасность и уязвимости ИОТ // Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XVI. №2 (20). Грозный, 2020.
5. Моисеенко Н.А., Джабраилов И.С. Проектирование информационной системы управления организацией: необходимость современности // Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XV. №2 (16). Грозный, 2019.
6. Хаджиева Л.К., Мальцагов Х.Х. Анализ технологии «Интернет вещей» (ИОТ) и ее роль в «Умном доме» // Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XV. №4 (18). Грозный, 2019.
7. Хаджиева Л.К., Элиханов М.Ш. Анализ перспективы внедрения технологии 5G и реализации ее возможностей для проектирования системы «УМНЫЙ ДОМ» // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «МИЛЛИОНЩИКОВ-2021» с международным участием ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова», Россия, Чеченская Республика, г. Грозный, 18-20 мая 2021 г.
8. Хасамбиев И.В., Тасуева Х.Х. Инфокоммуникационные технологии как системы управления объектом // Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XV. №4 (18). Грозный, 2019.
9. Хаджиев М.Р., Хаджиева Л.К., Пайзулаева Р.Т., Мажитова З.Д. Защита беспроводной сети передачи данных // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «МИЛЛИОНЩИКОВ-2021» с международным участием ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова», Россия, Чеченская Республика, г. Грозный, 18-20 мая 2021 г.
10. Минцаев М.Ш., Хакимов З.Л., Лабазанов М.А. Программирование логических контроллеров фирмы SIEMENS // Лабораторный практикум. Грозный, 2021.
11. Алисултанова Э.Д., Хаджиева Л.К., Исаева М.З. Профориентационная школьная лаборатория по основам кибербезопасности в сфере интернет вещей (ИОТ) // Вестник ГГНТУ. Гуманитарные и социально-экономические науки. 2019. Т. 15. №4 (18). С. 51-58.
12. Murtazaev S.A., Mintsaev M., Salamanova M., Alaskhanov A., Aymenov Z. Mineral powders dispersion degree effect on the properties of the cementing alkaline system. Materials Science Forum. 2021. Т. 1017. С. 31-40.
13. Минцаев М.Ш., Эльсункаева Э.В. Разработка ГИС-модуля для комплексного мониторинга геологической среды Ханкальского месторождения Чеченской Республики.
14. Минцаев М.Ш., Лабазанов М.А., Исаева М.Р., Муртазова Х.Т. Обоснование выбора технологической схемы бинарной установки // Геоэнергетика-2019. Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции / Под ред. М.Ш. Минцаева. 2019. С. 349-357.

KEY TECHNOLOGIES OF THE IOT CONVERGENCE SECURITY GATEWAY

© L.K. Khadzhieva, A.B. Chadaeva

GSTOU named after M.D. Millionshchikov, Grozny, Russia

The Internet of Things is currently receiving more and more attention. This article is devoted to the study of the key technologies of the Internet of Things Convergence Security Gateway. Gateway is a proven technology of the Internet of Things, and plays an important role in the era of rapid development of IOT. In addition, it will become the link between the sensor network and the traditional communication network. The article discusses network technologies, such as multi-mode communication technology, data transmission technology through the gateway, reliable computing technology, data processing technology, low power gateway technology. The article also discusses in detail the Modbus protocol of an industrial controller and the implementation of an aggregated IoT security gateway based on the Modbus protocol, an overview of related research and security technologies for data transmission through the gateway is made. Finally, the article discusses the energy-saving routing algorithm of the gateway overlay network and the mechanism for waking the gateway from sleep to ensure network operation.

Keywords: Internet of things, data transfer, security gateway, Modbus protocol, peer-to-peer network, overlay network.

REFERENCES

1. Khadzhieva, L. K., Khadzhiev, M.R. and Israkhimova, A.T. (2021) 'Kontseptsiya sistem IOT dlya sel'skokhozyaistvennykh uslug s vysokoi stepen'yu avtonomii'. *Zhurnal «Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki»*. [The concept of IOT systems for agricultural services with a high degree of autonomy. Journal "Herald of GSTOU. Technical sciences"]. V. XVII. №3 (25). Grozny.
2. Khadzhieva, L.K., Khadzhiev, M.R., Khashumov, I.U. (2021) 'Perspektivy vnedreniya tekhnologii 5G i vzaimodeistvie s sistemoi «UMNYI DOM»'. «*Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki*». [Prospects for the introduction of 5G technology and interaction with the SMART HOUSE system. "Herald of GSTOU. Technical sciences"]. V. XVII. №4 (26). Grozny.
3. Available at: <https://www.osp.ru/lan/2010/11/13005564>
4. Khashumov, I.U., Khadzhiev, M.R. and Maltsagov, H.Kh. (2020) Information security and IOT vulnerabilities. Volume XVI. №2 (20). Grozny.
5. Moiseenko, N.A. and Dzhabrailov, I.S. (2019) «*Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki*». [Designing an information system for managing an organization: the need for modernity. "Herald of GSTOU. Technical sciences"]. Volume XV. №2(16). Grozny.
6. Khadzhieva, L.K. and Maltsagov, Kh.Kh. (2019) 'Analiz tekhnologii «Internet veshchei» (IOT) i ee rol' v «Umnom dome»'. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki*. Analysis of the technology "Internet of Things" (IOT) and its role in the "Smart Home" "Herald of GSTOU. Technical sciences"]. Volume XV. №4 (18). Grozny.
7. Khadzhieva, L.K. and Elikhanov, M.Sh. (2021) 'Analiz perspektivy vnedreniya tekhnologii 5G i realizatsii ee vozmozhnostei dlya proektirovaniya sistemy «UMNYI DOM»'. *Materialy IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «MILLIONSHCHIKOV-2021» s mezhdunarodnym uchastiem FGBOU VO «GGNTU im. akad. M.D. Millionshchikova»*. [Analysis of the prospects for the introduction of 5G technology and the implementation of its capabilities for the design of the "SMART HOUSE" system'. Proceedings of the IV All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists "MILLIONSCHIKOV-2021" with international participation - GSTOU named after acad. M.D. Millionshchikov, Russia, Chechen Republic, Grozny, May 18-20, 2021.

8. Khasambiev, I.V. and Tasueva, Kh.Kh. (2019) 'Infokommunikatsionnye tekhnologii kak sistemy upravleniya ob"ektom'. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki*. [Infocommunication technologies as object management systems. "Herald of GSTOU. Technical sciences"]. Volume XV. №4 (18). Grozny, 2019.
9. Khadzhiev, M.R., Khadzhieva, L.K., Paizulaeva, R.T., Mazhitova, Z.D. (2021) 'Zashchita besprovodnoi seti peredachi dannykh' *Materialy IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «MILLIONShchIKOV-2021» s mezhdunarodnym uchastiem FGBOU VO «GGNTU im. akad. M.D. Millionshchikova*. [Protection of the wireless data transmission network. Proceedings of the IV All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists "MILLIONSCHIKOV-2021" with international participation – GSTOU named after akad.M.D. Millionshchikov", Russia, Chechen Republic, Grozny, May 18-20, 2021.
10. Mintsaeв, M.Sh., Khakimov, Z.L. and Labazanov, M.A. (2021) Programmirovaniye logicheskikh kontrollerov firmy SIEMENS. *Laboratornyi praktikum*. [Programming logic controllers from SIEMENS. Laboratory workshop], Grozny.
11. Alisultanova, E.D., Khadzhieva, L.K. and Isaeva, M.Z. (2019) 'Proforientatsionnaya shkol'naya laboratoriya po osnovam kiberbezopasnosti v sfere internet veshchei (IOT)'. *Vestnik GGNTU. Gumanitarnye i sotsial'no-ekonomicheskie nauki*. [Vocational guidance school laboratory on the basics of cybersecurity in the field of the Internet of things (IOT).Herald of GSTOU. Humanitarian, social and economic sciences]. V. 15. №4 (18). Pp. 51-58.
12. Murtazaev, S.A., Mintsaeв, M., Salamanova, M., Alaskhanov, A. and Aymenov, Z. (2021) 'Mineral powders dispersion degree effect on the properties of the cementing alkaline system'. *Materials Science Forum*. V. 1017. S. 31-40.
13. Mintsaeв, M.Sh. and Elsunkaeva, E.V. *Razrabotka GIS-modulya dlya kompleksnogo monitoringa geologicheskoi sredy khankal'skogo mestorozhdeniya chechenskoj respublik*. [Development of a GIS-module for complex monitoring of the geological environment of the Khankala field of the Chechen Republic].
14. Mintsaeв, M.Sh., Labazanov, M.A., Isaeva, M.R. and Murtazova, Kh.T. (2019) 'Obosnovaniye vybora tekhnologicheskoi skhemy binarnoi ustanovki'. *V sbornike: Geoenergetika - 2019. Materialy IV Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*. Pod redaktsiei M.Sh. Mintsaeва. [Justification for the choice of the technological scheme of a binary installation. Proceedings: Geoenergy - 2019. Materials of the IV All-Russian Scientific and Technical Conference. In M.Sh. Mintsaeв (Ed.). Pp. 349-357.

ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ АНИМАЦИОННЫХ РОЛИКОВ

© ¹Л. С-А. Хасухаджиева, ¹Э. Д. Алисултанова, ²А. Л. Рутковский
¹ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия
²СКГМИ (ГТУ), Владикавказ, Россия

Создание анимации – это трудоемкий процесс и настоящее искусство. И не обязательно обладать профессиональными навыками, чтобы создать самый простой анимационный ролик. Рассмотренные в данной работе программы для создания анимации способны превращать изображения с нескольких картинок в связную историю. Такое создание благотворно сказывается на привлечении широкой аудитории. Поскольку, если честно, мультфильмы любят смотреть все, и дети, и взрослые люди. Статья имеет обзорно-познавательный характер и нацелена на то, чтобы заинтересовать читателя, побудив его к творчеству, связанному с компьютерной анимацией и графикой. Рассмотренные программы для создания анимации в настоящее время требуются как профессиональным дизайнерам, так и рядовым пользователям. Не возникает сомнения в их востребованности. Один вопрос, который остается открытым, – какое приложение выбрать? В статье подробно разобран процесс создания кадровой анимации.

Ключевые слова: анимация, видео, презентация, программа, интерфейс, информационные технологии.

Благодаря использованию интернет-ресурсов для создания анимации могут создаваться интерактивные презентации и обучающие ролики, с главными героями в роли анимированных виртуальных персонажей. Создание анимации преследуют самые разные цели: от небольших проектов, таких как рекламный баннер, до целых мультфильмов. В данной статье будет изложено, как создать графику своими руками, зачем она нужна и какие для этого существуют онлайн-программы и сервисы.

Анимация – это эффективный инструмент маркетинга и дизайна в борьбе за привлечение внимания клиентов и пользователей. Его главной особенностью является количество кадров, используемых для его разработки. Чем больше изображений, тем более плавным будет движение объектов. Различные форматы используются в маркетинговых целях:

- анимированные рекламные баннеры;
- примитивная анимация для рекламы – текст на красочном фоне, динамический текст для видео;

- анимированная видео-презентация компании;
- полный комикс.

Каждый формат требует определенных навыков и определенного программного обеспечения.

Выбирая лучший сервис анимации, человек должен оценить предлагаемые функции и доступность инструментов для решения конкретных проблем. Например, если нужно продвигать бизнес, особенно важно иметь обширный список инструментов. Инструменты в последующем будут применяться для создания логотипа компании и интерактивной рекламы компании [1].

Контенты обычных пользователей, которые имеют большое желание повысить популярность и просмотры своего профиля в социальных сетях или же преследуют цель украсить свою личную страницу видеороликами с анимированными персонажами, в таком случае рекомендуется обратить внимание на программы и ресурсы с более скромными

возможностями. На практике чаще всего для повседневной работы хватит нескольких десятков инструментов создания анимации.

Большое количество интернет-порталов, которые занимаются созданием анимированного мультимедийного контента, предлагают платные услуги. В таких порталах бесплатные подписки имеют ограниченную функциональность. Следует воспользоваться сравнением таких сайтов, сравнить тарифы, вероятные преимущества покупки, использовать демо-режим для проверки возможностей сервиса. И остановиться на выборе подходящего портала.

Благодаря привлекательной анимации можно продвигать продукт и привлекать аудиторию. Рассмотрим инструменты для создания анимации.

Не существует универсального инструмента для создания анимации – некоторые из них лучше подходят для создания прототипов, другие – для дизайна.

Любая анимация – это создание оптической иллюзии. Быстро меняя изображения, наш мозг убеждается, что мы видим движущиеся объекты. Компьютерные программы позволяют отказаться от традиционной анимации, присущей множественному рисованию каждого изображения [2].

Цифровые технологии сделали возможным «оживление» изображения с помощью векторной (2D) анимации и более реалистичной 3D-анимации, что требует мощного программного обеспечения, такого как Maya или Cinema4D.

Разница между 3D-анимацией и 2D-движущимися изображениями заключается в том, что иллюзия движущихся объектов происходит в трех измерениях. Требуется соответствующее программное обеспечение, так как вручную нарисовать трехмерное изображение просто невозможно.

Алгоритм «анимации» элементарного изображения в 3D Max состоит из следующих шагов:

- Точка А (1-й кадр) – статичное изображение шара в трехмерном пространстве (координаты X_1, Y_1, Z_1).
- Точка В (25-й кадр) – положение шара в пространстве через одну секунду (координаты X_2, Y_2, Z_2).

- Следующая контрольная точка, еще через секунду (25-й кадр), изменение положения шара в пространстве (координаты X_2, Y_2, Z_2).

- Создатель анимированного изображения может установить, с какой точки камера будет смотреть на объект (координаты X_3, Y_3, Z_3), а также задать направление падения светового луча на шар.

- После введения всех необходимых параметров запускается рендеринг, то есть процесс обчитывания всех перемещений объекта [3].

Чтобы получить реалистичную анимацию, компьютер должен рассчитать:

1. Какой путь пройдет мяч от первого до последнего кадра, каковы будут его координаты в каждой из этих 25 точек.
2. Каким будет вид шара со стороны камеры для каждого кадра.

Результатом этих вычислений будет набор из 25 последовательных изображений трехмерного объекта. Чтобы посмотреть видео, зрителю потребуется не более секунды, и благодаря мгновенной смене статических изображений мозг «увидит» движение шара в пространстве [4].

Ошибочному расчету финальной сцены предшествует «аниматик» – предварительный просмотр будущего клипа, где можно оценить композицию, поведение камеры, движение объектов в пространстве, определить продолжительность каждой сцены в секунду, а затем на заключительном этапе съемки вносим необходимые коррективы.

Рассмотрим 12 правил анимации.

1. Сжатие и растяжение

Благодаря принципу сжатия анимационных роликов, персонажи анимации получают дополнительную эластичность, такое правило делает ролик интересным и запоминающимся. При движении объекта происходит ряд определенных действий, сначала сжимается, затем расширяется, затем расширяется и снова сжимается. В данном случае объем объекта остается неизменным. Вертикальное расширение компенсируется горизонтальным сжатием персонажа [5, 6].

2. Подготовка либо упреждение

Зрительская аудитория должна быть готова к следующему движению объекта, что-

бы он ждал его, прежде чем оно произойдет. Этот эффект достигается за счет предвидения каждого действия определенным движением или жестом, чтобы подготовиться к тому, что должно произойти. Рассмотрим пример, когда перед ударом герой анимационного видео делает качели, а перед прыжком – приседания. Предварительные ходы всегда делаются в направлении, противоположном запланированному, поэтому они называются неудачами: персонаж сначала отказывается от намерения, а затем выполняет его правильно.

3. Сценичность

Прием позволяет четко и однозначно передать мысль, принадлежит ли она человеку, является ли она действием или выражением. Характер героя должен быть узнаваем, реплики разборчивы, детали видны.

Иногда нужно использовать силуэт для создания сценического движения. Например, если у персонажа плечо и шея одного цвета, конечность выйдет тусклой на нижней части шеи. Если силуэт помогает определить характер позы, то фотография удалась.

4. Компоновки и фазованное движение

Используя метод компоновки, ведущий заранее планирует и организует действия, выполняет ключевые и наиболее выразительные фазы движения. Затем он передает сцену мастеру, чтобы он набросал промежуточные этапы, которые легче выполнить. Особое внимание следует уделить расчету времени в пути, а также разработке планов.

При работе с моделями достигается четкость и напряженность сюжета, при постепенном наведении на него достигается эффект неожиданности и легкости. Во многих случаях этот последний подход более эффективен, чем тщательное планирование, потому что он придает действию спонтанный эффект.

5. Сквозное движение либо доводка и захлест действия

С целью создать движение в анимации более естественным, непрерывным и пластичным, применяются данные принципы. Таким образом, движение не останавливается до тех пор, пока не начнется следующее. Наложения и непрерывное движение предназначены для обеспечения непрерывности и согласованно-

сти повествования в отдельных частях анимационного видео или фильма. Тонкая настройка предполагает постепенное начало или окончание движения частей тела героя в зависимости от инерции. Наложение позволяет перекрывать и пересекать действия, когда одно движение отражается в другом.

6. Смягчение начала и завершения движения

Движение объекта требует определенного времени, чтобы он смог ускориться и замедлиться. Следовательно, анимация по итогу получится более реалистичной, если в конце и начале сюжета будет больше рисунка (подчеркивающего крайние положения) и меньше в середине.

7. Дуги

Этот принцип описывает расположение фаз движения по дугообразным траекториям. При медленном строении с большим количеством промежуточных фаз дуга является довольно выпуклая и закругленная, при быстром построении она стремится к выпрямлению.

8. Дополнительное действие, либо выразительная деталь

Мелкие детали усиливают основные действия. Например, слабовидящий человек постоянно щурится, когда смотрит на фотографию. Из-за отсутствия дополнительных действий все персонажи становятся неинтересными. Индивидуальность придают случайные и неожиданные движения персонажей или их выразительные детали.

9. Расчёт времени

Данное правило создания анимации позволяет установить временной интервал между действиями, чтобы подчеркнуть вес, размер и характер объекта. Должно быть достаточно времени, чтобы подготовить аудиторию к ожиданию действия, к самому действию и реагированию на него.

10. Преувеличение, утрирование

Этот прием очень полезен для анимации, потому что имитация реальности кажется довольно скучной. Степень преувеличения определяется стилем, который хочет использовать ведущий. Классическое понимание преувеличения означало сохранение реальности, но изображать её в более искаженной форме. С

ограничениями при утрировании следует соблюдать определенный уровень: если на сцене есть несколько преувеличений, важно сбалансировать отношения между ними.

11. «Крепкий» (профессиональный) рисунок

При представлении объекта необходимо учитывать его вес и форму в трехмерном пространстве. Аниматорам необходимо знать основы 3D-моделирования, баланса, анатомии, света и теней [7].

12. Привлекательность

Любой предмет должен иметь привлекательный внешний вид. Он должен привлекать внимание, очаровывать, вызывать удовольствие.

Далее рассмотрим основные этапы производства анимационного видео.

Этапы и их последовательность могут варьироваться в зависимости от выбранного стиля дизайна. Кроме того, у каждого производства есть свои правила и свои взгляды на бизнес-процессы. Но все же этого будет достаточно, чтобы человек получил общее представление о том, как создаются анимированные видео.

Рассмотрим преимущества анимированных видео для бизнеса.

1. Широкое распространение вашего бренда.

Анимированные корпоративные видео – отличный инструмент для создания бренда, поскольку они идеально сочетают цвета, логотипы и изображения брендов с правильным аудиовизуальным контентом для создания полного набора услуг.

Эти анимированные аудиовизуальные эффекты улучшают имидж бренда, создавая повторяющиеся темы, которые сохраняют фон, или фон, когда персонажи перемещаются по клипу.

Анимация также помогает разрабатывать более сложные дизайны и значки брендов, которые могут улучшить маркетинговую презентацию. Является ли человек опытным игроком в онлайн-маркетинге или любителем, подходящее анимационное видео может иметь большое значение для продвижения вашего бизнеса.

2. Высокое качество при небольшом бюджете

Благодаря анимированным видео экономится много денег и времени, потраченных впустую на традиционные видео. Увеличение затрат на отслеживание местоположения, наем съемочной группы, оплата услуг художников, оплата первоклассного оборудования, установка декораций и т. д. может нерационально расходовать финансовые средства.

Но корпоративная анимация может радикально изменить затраты, создав прекрасное сочетание голосового, визуального и звукового контента, чтобы создать потрясающую историю. Правильный хозяин и правильный инструмент помогут привлечь внимание аудитории как никогда раньше.

Если что-то не нравится в анимированном видео, тогда определенную часть вырезают и редактируют, с целью добавления чего-то определенного и более существенного.

3. Больше вовлеченности

Видеоконтент по-прежнему привлекателен для аудитории, поскольку в дополнение к простому тексту он содержит интересные аудиовизуальные материалы. Человеческий мозг, жаждущий знаний через зрение и опыт, имеет тенденцию потреблять больше аудиовизуальных материалов.

Это, в свою очередь, поможет улучшить взаимодействие с целевой группой. Являясь популярным средством передачи знаний и сообщений, анимированные видеоролики за короткое время передают четкое и ясное сообщение и способствуют аудиовизуальному обучению.

Как создать примитивную промо-анимацию: программы для анимации

Благодаря привлекательной анимации можно продвигать продукт и привлекать аудиторию.

Рассмотрим инструменты для создания анимации. Даже новички освоят эти платформы. Функциональность программ решает большинство проблем: от поздравительных gif-файлов, таких как «поздравления с 8 Марта», до создания профессионального рекламного видео.

1. Supa

Supa – онлайн-редактор анимационных видеороликов. В данной разработке пользователь

может создать анимацию с нуля, и также есть режимы создания из готовых фото и видео.

В настоящее время в социальных сетях известны и популярны короткие видео. Видео сосредотачивают больше внимания, в отличие от статичных изображений. Работая в редакторе Supra можно создать 5 слайдов продолжительностью 3 секунды. Также придумать свой фон для каждого слайда, шрифт и текст, можно настроить анимацию появления графики. По итогу, ролики продолжительностью 10-15 секунд могут донести такой же объем информации, сколько статья, которую будет читать человек 3-5 минут.

2. MyTarget

На MyTarget можно создавать анимации прямо в своей учетной записи. Для этого на платформе есть онлайн-редактор видео, содержащий необходимые инструменты. Как и в случае с Supra, нужно загрузить заготовку или сделать анимацию из фона, текста, значков. Сервис также предлагает квадратные, вертикальные и горизонтальные форматы видео. Это лучший вариант, если у человека нет навыков анимации.

Анимация на сайте необходима для выполнения следующих задач:

- Загрузка страницы – чтобы запретить пользователю покидать сайт до появления содержимого.
- Сторителлинг – четко и быстро объяснить посетителю ситуацию.
- Улучшенная юзабилити – карусель анимированных фотографий легче увидеть, чем список изображений.
- Общение с пользователем – приветствия, предупреждения, уведомления об ошибках.

Примеры анимации сайта: движущаяся панель загрузки, переключение кнопок при наведении курсора мыши, всплывающие окна.

3. Javascript

Анимация, которая основана на языке программирования Javascript, требует компоновки элементов сайта в HTML и CSS – вам нужно применить теги и установить для них соответствующие свойства. Javascript является отличным решением для создания сложных анимационных эффектов, таких как пауза, пе-

ремотка, отскок, свечение, скорость, ощущение, динамика [8].

JavaScript легкий, легко читаемый браузерами и не нагружает сайт. Если нет навыков программирования, то человек не сможет самостоятельно создавать анимацию.

4. InVision

InVision разрабатывает шаблоны веб-сайтов, включая шаблоны анимации. Инструмент популярен среди студий и профессионалов благодаря кроссплатформенности программы – InVision работает как на Windows, так и на MacOS. Пользователи отмечают подробное изучение анимаций и прототипов. Контроль скорости анимации и размещения элементов можно увидеть на слоях: он полезен для создания меню, навигации и переключения между страницами.

5. Marvel

Marvel – это онлайн-сервис, который включает в себя настройку анимации прототипов. Отличительной особенностью Marvel является возможность работы с импортированными ссылками из приложения Sketch. Это означает, что статический рисунок от руки можно превратить в анимацию. Инструмент может быть установлен как на телефоне, так и на персональном компьютере. Marvel поддерживает интеграцию с облачным хранилищем Dropbox. Для создания прототипов рекламных материалов редактор Marvel очень подходит. Автор может настроить размер, цвет, шрифт и саму анимацию.

Создание сложной анимации

Возможности сложной анимации намного шире – здесь можно создать анимационный канал. Сложные анимации работают с неограниченным количеством элементов. С его помощью можно создавать целые слайд-шоу, фильмы, 3D-объекты.

6. Adobe Photoshop

Adobe Photoshop, программа предназначена для разработки 2D static, но в нем имеется функционал по созданию gif. Сначала Adobe Photoshop рисует макеты, рамки, и в дальнейшем действии объединяет их в анимацию. Adobe Photoshop подходит для создания текстовых GIF-анимаций. В Adobe Photoshop нужно выбрать, как шрифт, размер и цвет тек-

ста будут отображаться на изображении. Формат сервиса поддерживает сжатие, поэтому файлы с анимацией имеют высокое качество и немного весят.

Однако программа не подходит для анимации интерфейса сайта. Лучше отдать предпочтение другим инструментам.

7. Adobe Animate

Можно создавать слайд-шоу и анимацию в Adobe Animate. Часть интерфейса посвящена рендерингу – программа предоставляет полный набор инструментов для создания высококачественной графики. У Animate есть собственный раздел для создания анимации. У пользователя есть несколько уровней с индивидуальными настройками. Это что-то вроде редактирования видео с возможностью рисовать графику с нуля.

Особенностью пакета является интеграция с веб-технологиями. После выхода пользователь получает доступ не только к видео, но и к проекту, готовому к загрузке на сайт и интеграции с HTML5 Canvas, WebGL, Adobe AIR, SVG.

8. Adobe After Effects

Инструмент используется профессиональными кинематографистами для редактирования видео и создания спецэффектов. Adobe After Effects имеет функции для создания векторных изображений и добавления динамики. Услуга подходит, например, для рекламных роликов со сложной анимацией.

9. MoHo

MoHo является программой для создания мультфильмов. Набор инструментов MoHo значительно превышает Adobe Animate. Анимация на платформе MoHo более реалистична и плавна. В данной программе можно рисовать, работать с покадровой анимацией и 3D-объектами.

Редакторы 3D

Такие программы, как Cinema4D, Blender, Autodesk Maya, используются, чтобы сделать 3D-графику. Особенность заключается в том, что можно свободно играть со светом и углами благодаря среде 3D-моделирования. Эти видео более насыщены динамикой, кажутся более сложными и захватывающими.

Анимация в высококачественном динамичном 3D-редакторе занимает много време-

ни. Выбор правильного угла, редактирование, рендеринг текстур, настройки рендеринга – все это требует большого обучения.

Программное обеспечение для создания GIF-файлов

Популярными инструментами являются: Photoscape, Microsoft GIF Animator, Gifted Motion, SSuite Gif Animator.

Порядок действий для создания анимации в MoHo:

- загрузить видео или фото в программу;
- выделить нужный отрезок ролика или обрезать изображение;
- настроить яркость, контраст, скорость, размер, количество повторов анимации;
- экспортировать gif на устройство.

10. Easy GIF Animator

Данный инструмент для работы с GIF является простым и эффективным. Программа имеет возможность сжимать размер готовых файлов, но при этом сохраняется высокое качество изображения [9].

С помощью Easy Gif Animator можно выполнять ряд действий:

- создавать рекламные баннеры, мультфильмы, кнопки;
- редактировать готовые gif-файлы;
- добавлять текст, графические эффекты к анимации;
- экспортировать файлы в видеоформат AVI;
- делать анимацию со звуком.

Онлайн-сервисы анимации

Онлайн-сервисы имеют четкий интерфейс и не требуют установки на компьютер. Но в отсутствие интернета не будет доступа к услугам. Кроме того, бесплатные анимационные сайты часто имеют ограничения на продолжительность анимации, или пользователь может зарегистрировать GIF-файл только с водяным знаком сервиса. Пользоваться всеми возможностями платных Онлайн-сервисов можно, если будет подключение ежемесячного платежа или покупка лицензии.

11. Animaker

Простой дизайнер анимации с более чем 1000 моделями и 100 миллионами изображений фотографий и видео. В Animaker можно редактировать видео в разрешении 4K. Animaker

подходит для продавцов, предпринимателей, учителей.

Animaker платный. Выбор нужного тарифа зависит от следующих факторов: качество загружаемого видео, количество пользователей и количество создаваемых анимаций в месяц. Базовая версия стоит 20 долларов в месяц, а более продвинутая Pro стоит 79 долларов.

12. Vyond

Анимационный видеоредактор с библиотекой шаблонов. Не требуются профессиональные навыки установки, чтобы разобраться в данной программе. В Vyond можно выполнять следующие действия: загружать видео в высоком качестве на сайт, записывать свой голос, экспортировать видео в социальные сети.

Vyond предлагает три тарифа: Basic за 299 долларов в год, Premium за 649 долларов в год и Professional за 999 долларов. Можно воспользоваться бесплатным пробным периодом, чтобы узнать, подходит ли услуга.

13. Moovly

Этот сайт подходит для создания видеопрезентаций. В Moovly есть библиотека изображений, видео, значков, аудио. Благодаря интуитивно понятному интерфейсу Moovly пользуется популярностью у учителей.

Всегда есть бесплатные презентации продолжительностью до 10 минут, несколько моделей и разрешение анимации 480 p. Подписка на Pro стоит 25 долларов в месяц, а подписка на

макс. – 50 долларов. Существует также специальный тариф для учителей, студентов и преподавателей в размере 8,25 доллара в месяц.

14. Wideo

В Wideo можно создавать анимации для активностей, продвижения продукта или услуги, стартапа и обучающего видео. Пользователям доступно более 100 шаблонов.

В бесплатном плане есть 10 шаблонов для редактирования видео продолжительностью не более одной минуты. Стоимость базового тарифа составляет 19 долларов в месяц. Можно делать 1,5-минутные видео с 33 шаблонами. Профессиональный план стоит 39 долларов в месяц, а полный план стоит 79 долларов. В PRO можно создавать 10-минутное видео и все модели, в PRO+ – 30 минут [10].

Таким образом, анимация помогает быстрее усваивать контент и лучше привлекает внимание людей, чем обычный текст. Поэтому она широко используется в образовании, маркетинге, бизнесе и рекламе. Если у человека нет профессиональных навыков, тогда лучше создавать анимацию в редакторах Sura, MyTarget, Easy Gif Animator. В данных программах даже новичок сможет создать GIF или добавить анимацию в видео.

Для реализации анимации на сайте лучше всего обратиться к разработчикам. Они работают в Javascript или InVision. Можно создать мультфильм или нарисовать изображение в Adobe Photoshop и Adobe Animate.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Альтендорфер А.* Анимация кадр за кадром / А. Альтендорфер; перевод с немецкого А. Ю. Татарина, О. В. Готлиб. Москва: ДМК Пресс, 2020. 164 с. ISBN 978-5-97060-686-5. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/131706>
2. *Замошникова Н. Н.* Компьютерная графика и анимация: учебное пособие. Чита: ЗабГУ, 2020. 239 с. ISBN 978-5-9293-2651-6. Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/173633>
3. *Курбанисмаилов З. М.* Современные подходы в программировании при создании интерактивной анимации на C# и Unity: учебно-методическое пособие / З. М. Курбанисмаилов. Москва: РТУ МИРЭА, 2021. 142 с. Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/176569>
4. *Никулин Е. А.* Компьютерная графика. Оптическая визуализация: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 200 с. ISBN 978-5-8114-3092-5. Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/213107>

5. *Пожидаев Л.* Анимация. Графика: альбом. Москва: ВГИК им. С. А. Герасимова, 2018. 132 с. ISBN 978-5-87149-236-9. Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/181285>
6. *Миццаев М. Ш., Хакимов З. Л., Лабазанов М. А.* Программирование логических контроллеров фирмы SIEMENS // Лабораторный практикум. Грозный, 2021.
7. *Алисултанова Э. Д., Хаджиева Л. К., Исаева М. З.* Профориентационная школьная лаборатория по основам кибербезопасности в сфере интернет вещей (ИОТ) // Вестник ГГНТУ. Гуманитарные и социально-экономические науки. 2019. Т. 15. №4 (18). С. 51-58.
8. *Моисеенко Н. А., Темирова А. Б.* Научное образование как основа формирования инновационной компетентности в условиях цифровой трансформации общества // Вестник ГГНТУ. Гуманитарные и социально-экономические науки. 2022. Т. 18. №1 (27). С. 60-66.
9. *Миццаев М. Ш., Вахидова К. Л., Исаева М. Р., Пашиев В. В.* Алгоритм распознавания основных дефектов поверхностей колец подшипников с применением метода фрактальной размерности и нейронных сетей // Инженерный вестник Дона. 2022. №3 (87). С. 124-132.
10. *Хасухаджиева Л. А., Моисеенко Н. А.* Обзор существующих разработок для создания анимационных роликов и их сравнительный анализ // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2021. Т. 17. №2 (24). С. 11-17.

FUNDAMENTAL ASPECTS OF THE AUTOMATED PLATFORM DEVELOPMENT FOR CREATING ANIMATED VIDEOS

© ¹L. A-S. Khasukhadzieva, ¹E. D. Alisultanova, ²A.L. Rutkovsky

¹GSTOU named after M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

²NCMMI (STU), Vladikavkaz, Russia

Creating animation is a laborious process and a real art. In addition, it is not necessary to have professional skills to create the simplest animated video. Animation programs turn a soulless image or a set of pictures into a coherent story. This has a beneficial effect on audience engagement. After all, to be honest, everyone loves cartoons, both children and adults. The article has an overview and informative character and aims to interest the reader, to encourage him to creativity related to computer animation and graphics. Animation creation programs are necessary for both professional designers and ordinary users. It is impossible to doubt their relevance. Only one question remains open – which application to choose? The article details the process of creating frame-by-frame animation

Keywords: animation, video, presentation, program, interface, information technology.

REFERENCES

1. Altendorfer, A. (2020) Animation frame by frame, translated from German by Tatarinov A. Y., Gottlieb O.V. DMK Press, Moscow, 164 p. ISBN 978-5-97060-686-5. [Electronic]: Lan: electronic library system. Available at: <https://e.lanbook.com/book/131706>
2. Zamoshnikova, N. N. (2020) Computer graphics and animation: a textbook. Chita: ZabGU, 239 p. ISBN 978-5-9293-2651-6. [Electronic]: Lan: electronic library system. Available at: <https://e.lanbook.com/book/173633>
3. Kurbanismayilov, Z. M. (2021) Modern approaches in programming when creating interactive animation in C# and Unity: an educational and methodological guide. RTU MIREA, Moscow,

- 142 p. [Electronic]: Lan: electronic library system. Available at: <https://e.lanbook.com/book/176569>
4. Nikulin, E. A. (2022). Komp'yuternaja grafika. Opticheskaja vizualizacija: uchebnoe posobie. [Computer graphics. Optical visualization: a textbook]. Lan, Saint Petersburg: 200 p. ISBN 978-5-8114-3092-5. [Electronic]: Lan: electronic library system. Available at: <https://e.lanbook.com/book/213107>.
 5. Pozhidaev, L. (2018) Animacija. Grafika: al'bom. VGIK im. S.A. Gerasimova, Moskva. [Animation. Graphics: album]. 132 p. ISBN 978-5-87149-236-9. [Electronic]: Lan: electronic library system. URL: <https://e.lanbook.com/book/181285>
 6. Mintsaeв, M. Sh., Khakimov, Z. L. and Labazanov, M. A. (2021) Programmirovanije logičeskich kontrollerov firmy SIEMENS. Laboratornyj praktikum. [Programming logic controllers from SIEMENS. Laboratory workshop]. Grozny.
 7. Alisultanova, E. D., Khadzhieva, L. K. and Isaeva, M. Z. (2019) 'Proforientacionnaja shkol'naja laboratorija po osnovam kiberbezopasnosti v sfere internet veshhej (IOT) ' *Vestnik GGNTU. Gumanitarnye i social'no-jekonomicheskie nauki*. [Vocational guidance school laboratory on the basics of cybersecurity in the field of the Internet of things (IOT). Herald of GSTOU. Humanitarian, social and economical sciences]. V. 15. №4 (18). Pp. 51-58
 8. Moiseenko, N. A. and Temirova, A. B. (2022) 'Nauchnoe obrazovanie kak osnova formirovaniija innovacionnoj kompetentnosti v uslovijah cifrovoj transformacii obshhestva'. *Vestnik GGNTU. Gumanitarnye i social'no-jekonomicheskie nauki*. [Scientific education as the basis for the formation of innovative competence in the conditions of digital transformation of society. Herald of GSTOU. Humanitarian, social and economical sciences]. V. 18. №1 (27). Pp. 60-66.
 9. Mintsaeв, M. Sh., Vakhidova, K. L., Isaeva, M. R. and Pashaev, V. V. (2022) 'Algoritm raspoznavanija osnovnyh defektov poverhnostej kolec podshipnikov s primeneniem metoda fraktal'noj razmernosti i nejronnyh setej'. *Inženernyj vestnik Dona*. [Algorithm for recognition of the main defects of the surfaces of bearing rings using the method of fractal dimension and neural networks. Engineering Bulletin of the Don]. №3 (87). Pp. 124-132.
 10. Khasukhadzhieva, L. A and Moiseenko, N. A. (2021) 'Obzor sushhestvujushchih razrabotok dlja sozdaniija animacionnyh rolikov i ih sravnitel'nyj analiz'. *Vestnik GGNTU. Tehnicheskie nauki*. [Review of existing developments for creating animated videos and their comparative analysis. Herald of GSTOU. Technical sciences]. V. 17. №2 (24). Pp. 11-17.

ДИСТАНЦИОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

© ¹Б. Д. Хасцаев, ¹В. В. Хмара, ¹А. Ю. Аликов,
²В. И. Марсов, ²Д. Н. Суворов
¹СКГМИ (ГТУ), Владикавказ, Россия
²МАДИ, Москва, Россия

В работе ставится задача разработки дистанционного измерителя температуры с высокими метрологическими характеристиками, обеспечивающего повышение эффективности современных АСУ ТП. Предложена структурная схема такого устройства, которая состоит из двух составляющих. Первая представляет собой измерительный преобразователь с датчиком температуры, построенная на основе моста Уитстона с линеаризованной выходной характеристикой. В устройстве возможно применение любого термометра сопротивления в качестве датчика температуры, к примеру, платиновый датчик температуры. Отличительной особенностью дистанционного измерителя температуры является включение датчика температуры по четырехпроводной схеме включения для обеспечения высокой точности измерения температуры и обеспечение дистанционной передачи данных измерения. Вторая составляющая дистанционного измерителя температуры представляет собой схему сбора, обработки и передачи результатов измерения температуры на расстояние, построенная на основе масштабного усилителя, АЦП, микроконтроллера и блока дистанционной передачи данных.

Ключевые слова: датчик температуры, термометр сопротивления, мост Уитстона, масштабный усилитель, микроконтроллер.

Введение. Повышение эффективности АСУ ТП обеспечивает, в первую очередь, повышение объема выпускаемой продукции и улучшение ее качества, поэтому задача разработки новых технических средств для совершенствования АСУ ТП является важной и востребованной. Одной из подзадач указанного направления является разработка средств для прецизионного измерения температуры, которые применимы на различных стадиях многих технологических процессов. При этих процессах возможны многократные, повторяющиеся измерения температуры в широких пределах измерения и с высокой точностью, а также с возможностью исключения влияния на точность измерения проводов, с помощью которых выполняется соединение датчика температуры к схеме измерителя. При этом для АСУ ТП весьма существенно обеспечение дистанционного измерения температуры.

В настоящее время известны многие интеллектуальные цифровые преобразователи зарубежных производителей, предназначенные для дистанционного измерения температуры на различных участках технологических процессов производства, в целом они применимы во всех сферах промышленности [1-6]. Из современных отечественных публикаций по измерителям температуры наиболее известными являются работы [7-11], основанные на применении микроконтроллеров. Однако устройства, рассматриваемые в [1-12], не всегда обеспечивают необходимый диапазон измерения температуры, также не всегда обеспечивают высокую точность измерения температуры и т.д. В то время как для повышения степени автоматизации технологических процессов, для создания высокоэффективных АСУ ТП необходимы измерители температуры с высокими метрологическими характеристиками и

широкими функциональными возможностями. В связи с этим целью настоящей работы является разработка измерителя температуры с широким диапазоном измерения температуры и с высокой точностью, а также с возможностью дистанционной передачи результатов измерения температуры. Таким образом, работа посвящена актуальной проблеме, обеспечивающей расширение функциональных возможностей АСУ ТП.

Постановка задачи исследования. Даже краткий анализ литературных источников, включая [13-16], показал широкое применение четырехплечей мостовой измерительной цепи, называемой еще мостом Уитстона, далее – мостовая цепь (МЦ). Значительным достоинством МЦ по сравнению с другими измерительными цепями является обеспечение измерения как абсолютного значения температуры, так и ее отклонения от заданного значения. Поэтому она была выбрана в данной работе в качестве измерительной цепи для разработки дистанционного измерителя температуры. Такая измерительная цепь обеспечивает измерение температуры на основе термометров сопротивления, к примеру, на основе платинового или медного термометров сопротивления. Известно, что термометры сопротивления (ТС) по сравнению с другими видами датчиков температуры характеризуются более высокими показателями как по разрешению, так и по повторяемости результатов измерения. ТС основаны на эффекте изменения электрического сопротивления металлических проводников при изменении температуры. Поэтому ТС выполняются из материалов, свойства которых

зависят от температуры. Наиболее применимы ТС, изготавливаемые из меди, платины, статические характеристики которых следующие.

Статическая характеристика медного ТС линейная и имеет вид:

$$R_{t\text{ меди}} = R_0 (1 + \alpha t^0),$$

где α – постоянный температурный коэффициент, равный $4,3 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ при изменении температуры от -50 до $+150 \text{ } ^\circ\text{C}$;

R_0 – сопротивление при $0 \text{ } ^\circ\text{C}$;

t^0 – диапазон измерения температуры.

Ток через датчик должен быть малым, чтобы собственный нагрев не влиял на температуру среды, в которой измеряется температура.

Статическая характеристика платинового ТС нелинейная и имеет вид:

$$R_{t\text{ плат.}} = R_0 (1 + At + Bt^2),$$

где: R_0 – сопротивление при $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ чаще всего $R_0 = 100 \text{ Ом}$;

A и B – постоянные коэффициенты:

$A = -3,94 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $B = -5,8 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$.

Следует отметить, даже среди других термометров сопротивления платиновые ТС обладают высокой точностью измерения, механической и электрической стабильностью. Поэтому при разработке измерителя температуры для АСУ ТП в первую очередь они должны быть рекомендованы для применения.

Мостовая цепь, показанная на рис. 1, состоит из двух ветвей, одна из которых содержит датчик физической величины (в рассматриваемом случае датчик температуры), представляющий собой термометр сопротивления с сопротивлением R_x , и образцовый элемент

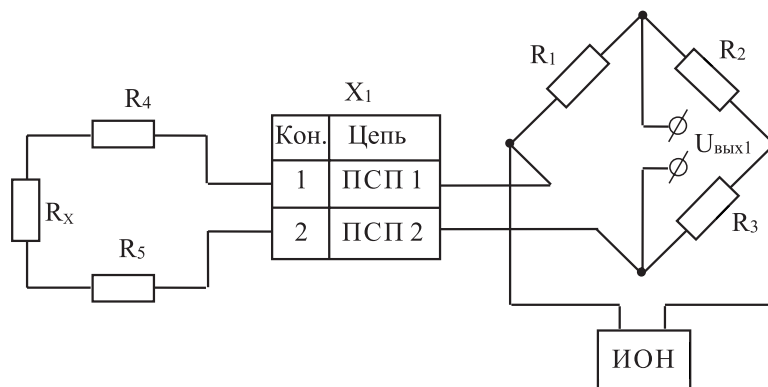


Рис. 1. Мост Уитстона с датчиком температуры

R₃. Другая ветвь состоит из образцовых элементов с сопротивлениями R₁ и R₂, которые по необходимости могут быть регулируемыми элементами.

Датчик температуры подключается в четвертое плечо МЦ через разъем X₁ с помощью двух потенциальных соединительных проводов, обозначенных как ПСП1 и ПСП2. Сопротивления этих проводов обозначены как R₄ и R₅. На величину этих сопротивлений влияют и сопротивления контактов датчика с МЦ. Как видно из рис. 1, эти сопротивления последовательно включаются с сопротивлением датчика температуры R_x и снижают тем самым точность измерения температуры.

Выходное напряжение такой МЦ определяется выражением:

$$U_{\text{вых1}} = \frac{(R_4 + R_x + R_5)R_2 - R_1R_3}{(R_4 + R_x + R_5 + R_3)(R_1 + R_2)} U_0 \quad (1)$$

Из (1) видна существенная зависимость точности измерения от сопротивлений потенциальных соединительных проводов ПСП1 и ПСП2 и сопротивлений контактов подключения датчика температуры к МЦ. С этой зависимостью связан недостаток МЦ. Поэтому была поставлена задача разработки измерителя, инвариантного к влиянию сопротивлений потенциальных соединительных проводов ПСП1 и ПСП2 и контактов подключения, обозначенных на рис. 1 как R₄ и R₅.

С целью достижения поставленной цели была выбрана методика, предусматривающая следующее:

- использование в качестве датчика температуры в разрабатываемом устройстве термометры сопротивления;
- применение в качестве измерительной цепи устройства моста Уитстона;
- вместо двухпроводной схемы включения датчика температуры предусмотреть применение в устройстве четырехпроводной схемы включения датчика, обеспечивающей априори более высокую точность измерения температуры;
- предусмотреть раздельное питание ветвей используемого моста специально сформированными напряжениями.

Краткое описание разработанного устройства для АСУ ТП. Результатом решения поставленной задачи на основе предложенной методики проектирования явилось устройство, структурная схема которого приведена на рис. 2.

На рис. 2 приняты следующие обозначения:

- R_x – сопротивление датчика температуры;
- R₄ и R₇ – сопротивления соответственно потенциальных соединительных проводов датчика температуры, обозначенных как ПСП1, ПСП2;

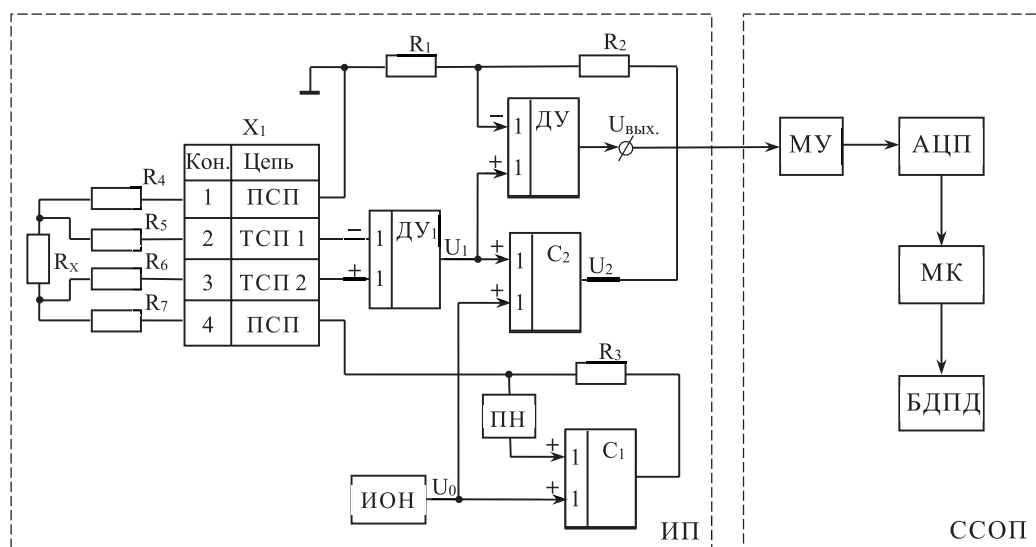


Рис. 2. Структурная схема дистанционного измерителя температуры для АСУ ТП с использованием термометра сопротивления

- R_5 и R_6 – сопротивления соответственных токовых соединительных проводов датчика температуры, обозначенных как ТСП1, ТСП2;
- R_1 и R_2 – сопротивления резисторов первого и второго плеч МЦ;
- R_3 – сопротивление резистора третьего плеча МЦ;
- X_1 – разъем для соединения датчика температуры с печатной платой дистанционного измерителя температуры;
- ДУ₁, ДУ₂ – дифференциальные усилители;
- C_1, C_2 – сумматоры;
- ИОН – источник опорного напряжения для питания устройства;
- ПН – повторитель напряжения;
- R_1, R_2 и R_3 – сопротивления резисторов плеч четырехплечей мостовой измерительной цепи, известной как мост Уитстона;
- МУ – масштабный усилитель;
- АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
- МК – микроконтроллер, выполняет функции процессора вплоть до интеллектуальной обработки сигналов измерения, их протоколирования и хранения, а также передачи на HART-модем;
- БДПД – блок дистанционной передачи данных, обеспечивающий передачу данных измерения температуры дистанционно;
- ИП – измерительный преобразователь;
- ССОПД – схема сбора, обработки и передачи данных, полученных в результате измерения температуры.

Из рисунка видны узлы дистанционного измерителя температуры, состоящего из двух основных частей, условно обозначенных как ИП и ССОПД. Важно отметить, что основную роль в обеспечении высокой точности измерения температуры играет ИП, так как выполняет основную роль в формировании исходной информации о физической величине (в рассматриваемом случае – о температуре). Поэтому в предлагаемой работе главным образом решалась проблема разработки точного и широкополосного измерителя температуры для обеспечения многих АСУ ТП техническим средством с высокими информационными возможностями.

Покажем на основе расчета, что в разрабатываемом измерителе устранено влияние сопротивлений ПСП1 и ПСП2, обозначенных как R_4, R_7 на рис. 2, и которые напрямую влияют на точность измерения температуры. Как отмечено выше, эти сопротивления оказываются последовательно соединенными с сопротивлением датчика температуры, поэтому значительно влияют на точность измерения температуры.

Нетрудно определить, что выражение для выходного напряжения сумматора C_1 из-за положительной обратной связи имеет вид:

$$U_{\text{п}} = \frac{R_x + R_4 + R_7 + R_3}{R_3} U_0$$

а выражение для выходного напряжения ДУ₁ при пренебрежении величинами сопротивлений ТСП1 и ТСП2 датчика температуры, обозначенных как R_5 и R_6 , по сравнению со значениями входных сопротивлений ДУ₁ имеет вид:

$$U_1 = \frac{R_x}{R_3} U_0$$

Тогда напряжение U_2 на выходе сумматора C_2 будет определяться выражением:

$$U_2 = U_1 - U_0 = \frac{R_3 + R_x}{R_3} U_0$$

Напряжение U_2 создает падение напряжения на сопротивлении R_1 , которое вычитается из напряжения U_1 . При этом величина U_{R1} определяется из выражения:

$$U_{R1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \frac{R_3 + R_x}{R_3} U_0$$

Таким образом, выходное напряжение ДУ₂ определяется из выражения:

$$U_{\text{вых}} = U_1 - U_{R1}$$

Подставив в выражение соответствующие значения U_1 и U_{R1} , формула для определения выходного аналогового сигнала МЦ будет иметь вид:

$$U_{\text{вых}} = \frac{R_x R_2 - R_1 R_3}{R_3 (R_1 + R_2)} U_0 = \frac{R_x G_3 - R_1 G_2}{1 + R_1 G_2} U_0, \quad (2)$$

$$\text{где: } G_2 = \frac{1}{R_2}, \quad G_3 = \frac{1}{R_3}.$$

Из выражения (2) видно, что сопротивления ПСП1 и ПСП2 (сопротивления R_4, R_7) уже не влияют на величину выходного сигнала измерителя температуры, а значит такая схема

измерителя обеспечивает высокую точность температуры. Более того, сравнение выражений (1) и (2) показывает нелинейную зависимость выходной величины моста Уинстона от величины R_x и, напротив, линейную зависимость выходной величины разработанной схемы МЦ от R_x . Также видно отсутствие в знаменателе выражения (2) суммы (R_1+R_2) , что показывает повышение чувствительности в новой схеме МЦ.

Отменные свойства разработанного ИП на основе МЦ позволяют сделать вывод об обеспечении таким ИП более высокую точность измерения температуры и в более широких пределах ее изменения за счет повышения чувствительности МЦ.

Вторая часть ДИТ состоит из ССОПД, включающая в себя, как видно из рис. 2, МУ, АЦП, МК, БДПД. Реализация этих составляющих ДИТ не представляет трудностей и для краткости работы не рассматривается. Отметим только то, что МУ наиболее просто можно разработать на основе операционного усилителя с управлением коэффициента усиления. Реализация МУ на примере операционного усилителя приведена на рис. 3

В качестве АЦП возможно применение микросхем многих серий, в качестве МК наиболее целесообразно применение микроконтроллера с низким энергопотреблением, к примеру, AT90S2313, в БДПД наиболее выгодно, к примеру, применение беспроводного модуля

Bluetooth технологии.

Заключение. Показан путь разработки дистанционного измерителя температуры с улучшенными свойствами, основанный на применении моста Уинстона с линеаризованной выходной характеристикой относительно сопротивления плеча, содержащего датчик температуры, и дополнительным изменением структуры моста для обеспечения четырехпроводного включения датчика температуры и исключения влияния сопротивлений потенциальных соединительных проводов на точность измерения температуры. Таким образом, в устройстве достигнута линейная зависимость выходной характеристики измерительной цепи устройства относительно сопротивления датчика температуры и существенное повышение чувствительности преобразованной измерительной цепи. Это все в совокупности и обеспечивают высокие метрологические характеристики разработанному устройству и расширение пределов измерения температуры. Другая часть схемы разработанного устройства состоит из стандартных модулей (это МУ, АЦП, МК, БДПД), объединенных в схему сбора, обработки и передачи данных дистанционно. Внедрение такого дистанционного измерителя температуры в АСУ ТП обеспечит существенное повышение эффективности работы технологических процессов, а значит улучшение качества выпускаемой продукции и повышение ее объема.

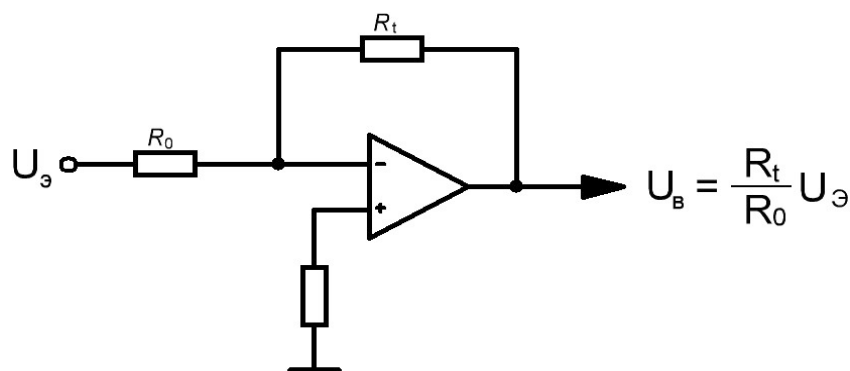


Рис. 3. МУ на основе операционного усилителя

Принятые на рисунке обозначения: – $U_э$ – напряжение на входе операционного усилителя (эталонное напряжение); – $U_в$ – выходное напряжение операционного усилителя (МУ); – R_0 – постоянное сопротивление операционного усилителя; – R_t – регулируемое сопротивление для обеспечения управления коэффициентом усиления (управление возможно от микроконтроллера, входящего в состав ССОПД разработанного устройства).

ЛИТЕРАТУРА

1. https://www.yokogawa.com/solutions/discontinued/YTA110_310_320-temperature-transmitter/
2. <https://www.ktopoverit.ru/prof/opisanie/25470-03.pdf>
3. <https://all-pribors.ru/opisanie/25470-03-yta-23368>
4. <https://all-pribors.ru/opisanie/56335-14-rosemount-648-rosemount-848t-60137>
5. <https://all-pribors.ru/opisanie/56335-14-rosemount-648-rosemount-848t-60137>
6. <https://www.k-avtomatika.ru/>
7. Ридико Л.И. Компьютерный термометр с датчиками DS18S20/B20. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.digit-el.com/files/>
8. Макетная плата AVR-USB-MEGA16 / Администрация сайта Microsin.net. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://microsin.net/programming/>
9. Кухтецкий С.В. AVR-USB-MEGA16: измеряем и контролируем температуру. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://microsin.net/programming/>
10. https://studme.org/327650/tehnika/tsifrovye_datchiki_temperatury
11. Карякин А.Т., Иттиев А.В. Микроконтроллерный измеритель высоких температур // Молодой ученый. 2016. №10 (114). С. 225-228.
12. Тахриев А.У., Хамзаев А.С., Ваганов У.А. Разработка системы автоматизированного управления процессом обжига кирпича в кольцевой печи // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2020. Т. 16. №1 (19). С. 5-11.
13. Хасцаев Б.Д., Катаев Т.С. Пат. 2104668 С1 РФ, МПК⁶ А 61 В 5/05. Мостовое устройство для многоточечного определения импедансных характеристик биообъектов. №96121545/09. Заявлено от 01.11.1996.
14. Линейные инвариантные преобразователи импеданса на основе операционных усилителей для дифференциальных измерений // Медицинская техника. 1998. №5. – с. 41-43.
15. Хасцаев Б.Д., Аликов А.Ю. Преобразователь импеданса с микропроцессорной системой управления // Труды электронной заочной конф. Ижевск, 2001.
16. Хасцаев Б.Д., Хасцаев М.Б. Квазиуравновешенный, линеаризованный, многоэлектродный преобразователь параметров импеданса для АСУ // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. 2010. №5. С. 36-38.

REMOTE TEMPERATURE METER WITH IMPROVED CHARACTERISTICS FOR AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF A TECHNOLOGICAL PROCESS

© ¹B. D. Khastsaev, ¹V. V. Khmara, ¹A. Yu. Alikov, ²V. I. Marsov, ²D. N. Suvorov

¹NCMMI (STU), Vladikavkaz, Russia

²MARCSTU (MADI), Moscow, Russia

The article sets the task of developing a remote temperature meter with high metrological characteristics, providing an increase in the efficiency of modern automated control systems of technological process. A block diagram of such a device is proposed, it consists of two components. The first is a temperature transmitter based on a Wheatstone bridge with a linearized output characteristic. The device can use any resistance thermometer as a temperature sensor, for example, a platinum temperature sensor. A distinctive feature of the remote temperature meter is the inclusion of a temperature sensor in a four-wire connection circuit to ensure high accuracy of temperature measurement and ensure remote transmission of measurement data. The second component of the remote temperature meter is a circuit for collecting, processing and transmitting temperature measurement results over a distance, built on the basis of a scale amplifier, an ADC, a microcontroller and a remote data transmission unit.

Keywords: temperature sensor, resistance thermometer, Wheatstone bridge, scale amplifier, microcontroller.

REFERENCES

1. Available at: https://www.yokogawa.com/solutions/discontinued/YTA110_310_320-temperature-transmitter/
2. Available at: <https://www.ktopoverit.ru/prof/opisanie/25470-03.pdf>
3. Available at: <https://all-pribors.ru/opisanie/25470-03-ya-23368>
4. Available at: <https://all-pribors.ru/opisanie/56335-14-rosemount-648-rosemount-848t-60137>
5. Available at: <https://all-pribors.ru/opisanie/56335-14-rosemount-648-rosemount-848t-60137>
6. Available at: <https://www.k-avtomatika.ru/>
7. Ridiko, L.I. Computer thermometer with sensors DS18S20/B20. [Electronic resource]. Available at: <http://www.digit-el.com/files/>
8. Available at: Development board AVR-USB-MEGA16. [Electronic resource]. Available at: <http://microsin.net/programming/>
9. Kukhtetsky, S.V. AVR-USB-MEGA16: we measure and control the temperature. [Electronic resource]. Available at: <http://microsin.net/programming/>
10. Available at: https://studme.org/327650/tehnika/tsifrovye_datchiki_temperatury
11. Karyakin, A. T. and Ittiev, A. V. (2016) 'Mikrokontrollernyi izmeritel' vysokikh temperatur'. *Molodoi uchenyi*. [Microcontroller high temperature meter. Young scientist]. №10 (114), pp. 225-228.
12. Takhgeriev, A. U., Khamzaev and A. S-S. and Vagapov, U. A. (2020) 'Razrabotka sistemy avtomatizirovannogo upravleniya protsessom obzhiga kirpicha v kol'tsevoi pechi'. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki*. [Development of a system for automated control of the brick firing process in a ring furnace. Herald of GSTOU. Technical sciences]. V. XVI, №1 (19), pp. 5-11.

13. Khastsaev, B. D. and Kataev, T.S. Patent 2104668 C1 РФ, МПК⁶А 61 В 5/05. ‘Mostovoe ustroystvo dlya mnogotochechnogo opredeleniya impedansnykh kharakteristik bioob’ektov. [Bridge device for multipoint determination of impedance characteristics of biological objects]. No. 96121545/09. Claimed on 11/01/1996
14. (1998) ‘Lineinye invariantnye preobrazovateli impedansa na osnove operatsionnykh usilitelei dlya differentsial’nykh izmerenii’. *Meditinskaya tekhnika*. [Linear invariant impedance converters based on operational amplifiers for differential measurements. Biomedical Engineering]. №5. pp. 41-43.
15. Khastsaev, B. D. and Alikov, A. Yu. (2001) ‘Preobrazovatel’ impedansa s mikroprotsessornoi sistemoi upravleniya. [Trudy elektronnoi zaachnoi konf. Impedance converter with microprocessor control system// Proceedings of the electronic correspondence conference]. Izhevsk.
16. Khastsaev, B. D. and Khastsaev, M. B. (2010) ‘Kvaziuravnovesennyi, linearizovannyi, mnogoelektroodnyi preobrazovatel’ parametrov impedansa dlya ASU’. *Pribory i sistemy. Upravlenie, Kontrol’, Diagnostika*. [Quasi-balanced, linearized, multi-electrode transducer of impedance parameters for automated control systems. Instruments and systems. Management, Control, Diagnostics]. №5, pp. 36-38.

ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТОВ МИЛИ ЕДИНОЙ РАЗВЕТВЛЕННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

© ¹В. В. Хмара, ¹Б. Д. Хасцаев, ¹А. М. Кабышев,

²Д. Н. Суворов, ²А. В. Илюхин

¹СКГМИ (ГТУ), Владикавказ, Россия

²МАДИ, Москва, Россия

Известно, что при автоматизированном управлении любым (непрерывным или дискретным) технологическим процессом необходимо осуществлять непрерывный или периодический контроль технологических параметров, и в частности контроль состава исходного сырья предприятий горно-металлургической отрасли, а также многих других отраслей. Как правило, информацию о конкретном параметре получают в автоматизированных системах аналитического контроля (АСАК), включающих в себя подсистему автоматического отбора и доставки в лабораторию представительных проб. В статье рассмотрены особенности информационно-технического обеспечения средств подсистемы отбора и доставки на анализ проб технологических продуктов, рассмотрены основные устройства контейнерной доставки проб технологических продуктов для проведения лабораторного анализ.

Ключевые слова: Цифровые автоматы, автоматизированная система аналитического контроля, устройства системы контейнерного пневмотранспорта.

Простейшим цифровым автоматом является комбинационное устройство, имеющее единственное внутреннее состояние, которое работает в дискретном времени t_n , где протяженность каждого интервала может быть сколь угодно большой, если не произошло изменений a , x или z .

Различают автоматы Мура и автоматы Мили. Автоматы Мура описываются функциями переходов и выходов:

$$a_{t+1} = f(a_t, x_t),$$

$$z_t = f(a_t),$$

т.е. каждое новое состояние обусловлено предшествующим состоянием и входным сигналом, а выход в каждый момент однозначно определяется состоянием автомата.

Автоматы Мили отличаются тем, что выход зависит не только от состояния, но и от входного сигнала:

$$a_{t+1} = f(a_t, x_t),$$

$$z_t = f(a_t, x_t).$$

Состояние автомата предполагает наличие у него внутренней памяти с глубиной памяти, равной числу его всевозможных состояний.

В реальной практике на промышленных предприятиях [1] контроль технологических процессов осуществляется, как правило, в автоматическом режиме на основе оперативной информации о параметрах технологического процесса в АСАК. При этом в АСАК пробы технологического продукта доставляются к месту их анализа, очень часто с использованием пневматического способа доставки контейнеров по разветвлённой сети транспортных трубопроводов [2]. Транспортировка проб осуществляется с применением большого количества взаимодействующих технических средств – станции загрузки, разгрузки, стрелочные переводы и т.п., которые последовательно реализуют однотипные технологические операции с одинаковым функциональным назначением. Все устройства автоматической контейнерной доставки проб на анализ относятся к классу позиционных систем, для ав-

томатического управления которыми стало возможным использование универсальной системы последовательностного цифрового управления [3, 4].

Для автоматического управления устройствами автоматической системы контейнерной доставки проб на анализ (АСКДП), характеризующимися некоторым множеством внутренних состояний, используются управляющие устройства, способные в зависимости от множества входных сигналов X_i с учетом временного фактора вырабатывать управляющие команды Y_i . Такие управляющие устройства относятся к классу цифровых автоматов.

Так как при автоматическом управлении устройствами АСКДП выходные управляющие сигналы Y_i должны учитывать не только значения входных сигналов X_i в данный момент времени, но и текущее состояние устройства, используемая система управления должна иметь внутреннюю память достаточного объема [5].

Состояние устройств АСКДП характеризуется взаимным расположением основных узлов устройства, которое однозначно меняется после поступления каждой управляющей команды от системы управления, при этом значение Y_i определяется комбинацией всех элементов памяти в данный момент времени. Простейший элемент памяти может принимать состояние логической единицы или логическо-

го нуля, которое должно сохраняться до тех пор, пока не будет изменено на новое.

Последовательностное цифровое устройство (ПЦУ) состоит из комбинационного цифрового устройства (КЦУ) и запоминающего устройства (ЗУ).

КЦУ обрабатывает входные данные и может быть описано следующими логическими функциями: $Y=F(X, Z)$ и $U=H(X, Z)$,

где:

X – набор входных значений;

Z – текущее состояние памяти;

$F(X, Z)$ и $H(X, Z)$ – функции выходов и переходов;

Y – выходные управляющие сигналы;

U – сигналы, воздействующие на ЗУ.

Структура ПЦУ представлена на рис. 1.

Устройства АСКДП являются примером ПЦУ и осуществляют отбор разовых проб и подготовку к отправке на анализ [6], загрузку дозированного объема усредненной пробы в транспортный контейнер [7], доставку пробы на анализ [8], разгрузку доставленной пробы и возврат порожнего транспортного контейнера в соответствующую станцию загрузки проб [9].

В состав таких систем входят устройства загрузки усредненной пробы в транспортный контейнер и отправки контейнера в лабораторию, автоматические стрелочные переводы, устройства разгрузки доставленных проб из

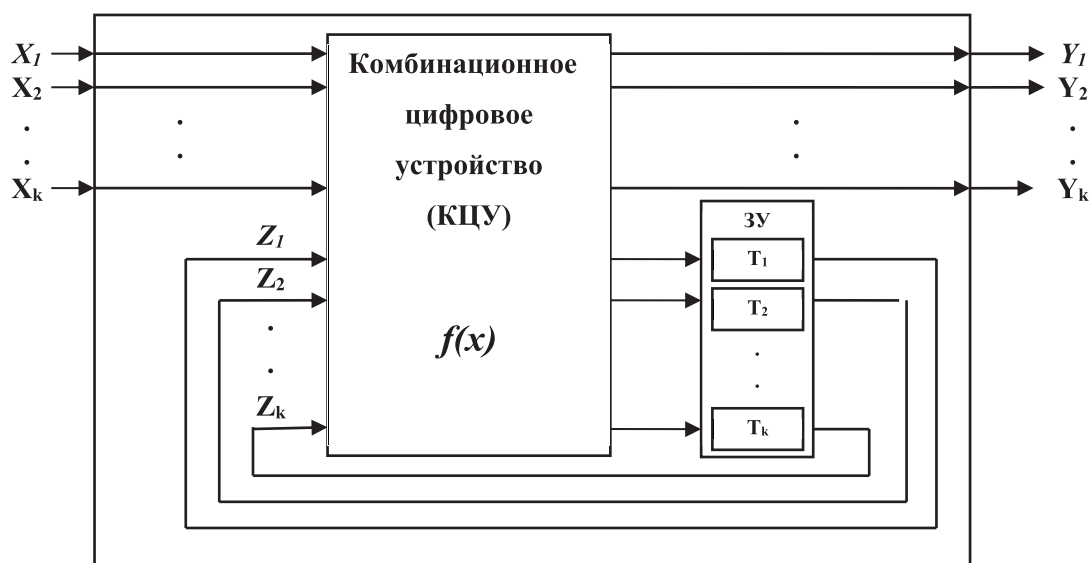


Рис. 1. Структурная схема последовательностного цифрового устройства

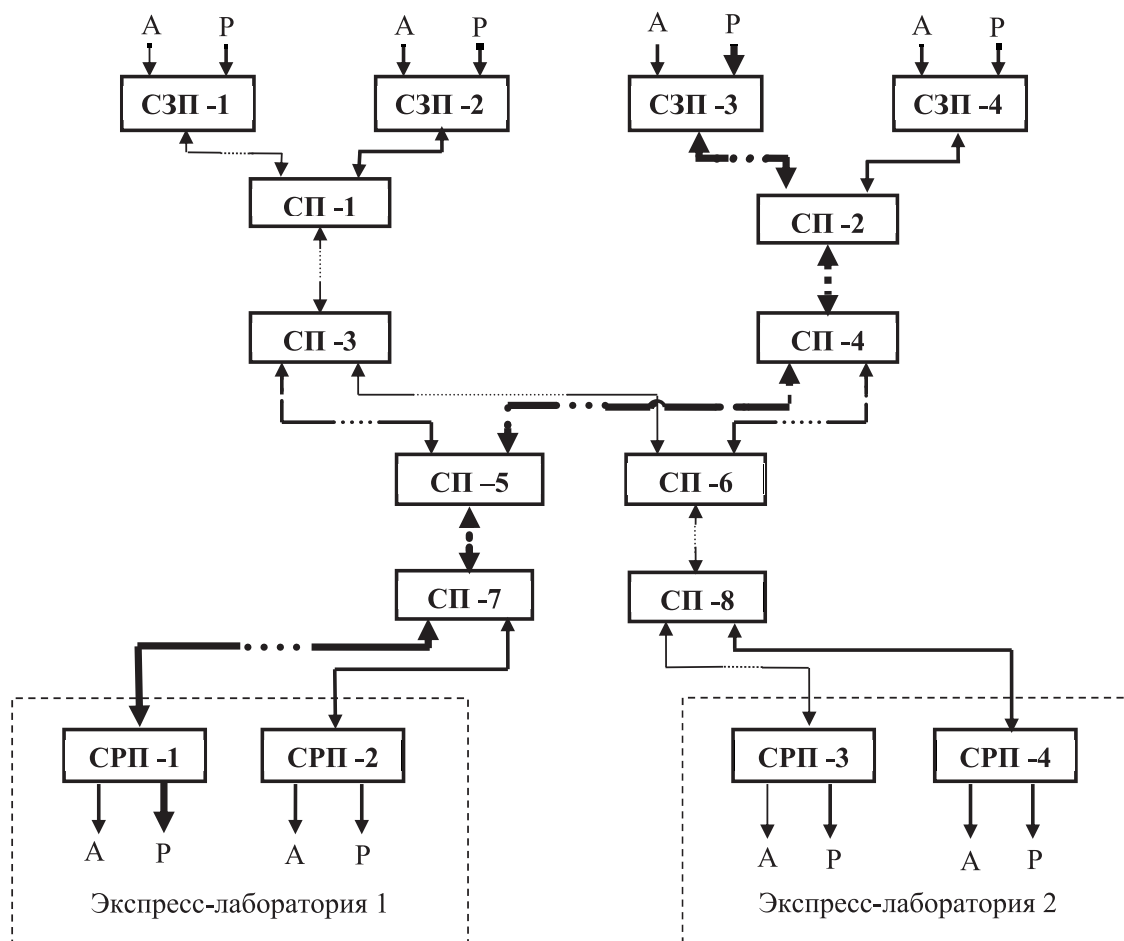


Рис. 2. Структурная схема АСКДП (А – автоматическая загрузка пробы в транспортный контейнер, Р – ручная загрузка пробы в транспортный контейнер)

транспортного контейнера и автоматического возврата порожнего транспортного контейнера к месту отбора проб, обеспечивающих оптимальные маршруты доставки проб на анализ [10, 11].

На рис. 2 приведен вариант структурной схемы АСКДП, обеспечивающей:

- автоматическую загрузку подготовленных к отправке проб четырех технологических продуктов в индивидуальные транспортные контейнеры;

- ручную загрузку подготовленных к отправке проб четырех технологических продуктов в индивидуальные транспортные контейнеры;

- доставку каждой пробы в любую из двух экспресс-лабораторий;

- автоматическую разгрузку каждой доставленной пробы в специальные маркированные приемные лотки;

- автоматический возврат порожних транспортных контейнеров в соответствующие станции загрузки проб.

Представленная АСКДП позволяет одновременно доставлять в одну или разные экспресс-лаборатории пробы двух различных технологических продуктов, что значительно повышает оперативность оптимизации контролируемых технологических процессов.

Доставка груженых транспортных контейнеров и возврат порожних транспортных контейнеров осуществляются по установленному оптимальному маршруту, составляемому центральным процессором системы доставки проб на анализ при получении команды на отправку конкретной пробы на анализ, при этом способ загрузки пробы в транспортный контейнер (А – автоматическая или Р – ручная) должен соответствовать способу его разгрузки. На рис. 2 тонкими, полужирными и жир-

ными линиями показаны разные пути доставки проб с различных точек отправки в разные экспресс-лаборатории.

Рассмотрим вариант составления маршрута доставки грузного транспортного контейнера из СЗП 1А в СРП 3А:

– в соответствии с утвержденным регламентом грузный транспортный контейнер 1А из СЗП 1 необходимо отправить в СП 1, затем в СП 3, затем в СП 6, затем в СП 8 и затем в СРП 3;

– для составления данного маршрута центральный процессор системы пневматической контейнерной доставки проб на анализ выдает команды на перевод в режим «Работа» СЗП 1, СП 1, СП 3, СП 6, СП 8 и СРП 3. При этом фиксируется признак способа загрузки и разгрузки транспортного контейнера (например, А) в СЗП и СРП;

– СП 1, СП 2, СП3, СП 6, СП 8 и СРП 3 осуществляют необходимые перемещения соответствующих приемных стаканов для приема грузного транспортного контейнера и выставляют информационные сигналы «Готов принять контейнер»;

– получив этот информационный сигнал, каждое устройство последовательно вырабатывает управляющие команды на необходимые перемещения и отправку грузного транспортного контейнера из СЗП 1 в СРП 3;

– после разгрузки доставленной пробы в СРП 3 осуществляется возврат порожнего транспортного контейнера в СЗП 1 в обратном направлении при получении от каждого принимающего устройства информационного сигнала – «Готов принять контейнер».

В период между отправкой грузного транспортного контейнера и до возвращения порожнего транспортного контейнера возможно составление второго маршрута доставки грузного транспортного контейнера, задействуя для этого оставшиеся свободные устройства пневмотранспортной системы.

При составлении маршрута доставки все устройства переводятся в режим «Работа», а сопряженные устройства контейнерного пневмотранспорта имеют возможность обмениваться между собой информационными сигналами, на основании которых последовательно

выполняются управляющие команды в темпе продвижения грузного, а затем порожнего транспортного контейнера.

Устройства системы пневматической контейнерной доставки проб на анализ построены на основе базовой конструкции, осуществляющей все необходимые перемещения транспортного контейнера, при выполнении всех технологических операций. Так как транспортный контейнер всегда используется для доставки проб одного и того же конкретного технологического продукта, то практически всегда отпадает необходимость очистки полости транспортного контейнера от остатков доставленной пробы.

Как видно из рисунка 2, в АСКДП используется станция загрузки проб в транспортный контейнер (СЗП), стрелочный перевод (СП) и станция разгрузки проб из транспортного контейнера (СРП), которые построены на основе базовой конструкции, обеспечивающей все необходимые горизонтальные и вертикальные перемещения, и отличаются только конструкцией устройств, осуществляющих соответствующую только данному устройству функцию (загрузка и разгрузка транспортного контейнера).

На рис. 3 представлена конструкция СЗП, которая включает в себя две передвижные каретки 1 и 2, соединенные с пневмоцилиндрами 3 и 4 для их горизонтальных перемещений по направляющим 5 и 6.

В передвижные каретки 1 и 2 установлены стаканы 7 и 8 для приема, горизонтальных и вертикальных перемещений транспортных контейнеров для автоматической 9 и ручной 10 загрузки в них подготовленных к отправке проб.

Вертикальные перемещения приемных стаканов 7 и 8 осуществляются с помощью пневмоцилиндров 11 и 12, жестко соединенных с передвижными каретками 1 и 2.

В исходном положении передвижные каретки 1 и 2 с размещенными в них транспортными контейнерами 9 и 10 находятся в крайних положениях (приемные стаканы 7 и 8 опущены в положение «Горизонтальное перемещение»).

Отправка грузных транспортных контейнеров и прием порожних транспортных кон-

тейнеров после их разгрузки осуществляются по транспортному трубопроводу 13.

Для осуществления ручной загрузки подготовленной к отправке пробы транспортный контейнер 10 с помощью пневмоцилиндра 12 поднимается вверх и оказывается доступным для его изъятия из приемного стакана 8, о чем свидетельствует информационный сигнал от электромагнитного датчика 16. Оператор вручную извлекает порожний транспортный контейнер из приемного стакана 8 (при этом информационный сигнал от электромагнитного датчика 16 исчезает), открывает крышку транспортного контейнера, загружает в полость транспортного контейнера пробу, закрывает крышку транспортного контейнера и вставляет грузе́ный транспортный контейнер в приемный стакан 8. При этом появляется информационный сигнал от электромагнитного датчика 16, который используется для дальнейшего автоматического управления операциями по отправке загруженного вручную транспортного контейнера.

Последовательность этих операций следующая:

- приемный стакан 8 с грузе́ным транспортным контейнером 10 с помощью пневмоцилиндра 12 опускается в положение «Горизонтальное перемещение» (появляется информационный сигнал от электромагнитного датчика 12.3);
- приемный стакан 8 с грузе́ным транспортным контейнером 10 с помощью пневмоцилиндра 4 перемещается под транспортный трубопровод 13 (появляется информационный сигнал от электромагнитного датчика 4.4);
- приемный стакан 8 с грузе́ным транспортным контейнером 10 с помощью пневмоцилиндра 12 поднимается до контактного соприкосновения приемного стакана 8 с транспортным трубопроводом 13, обеспечивая герметизацию трассы доставки контейнера до следующего устройства системы пневмотранспорта (появляется информационный сигнал от электромагнитного датчика 17);

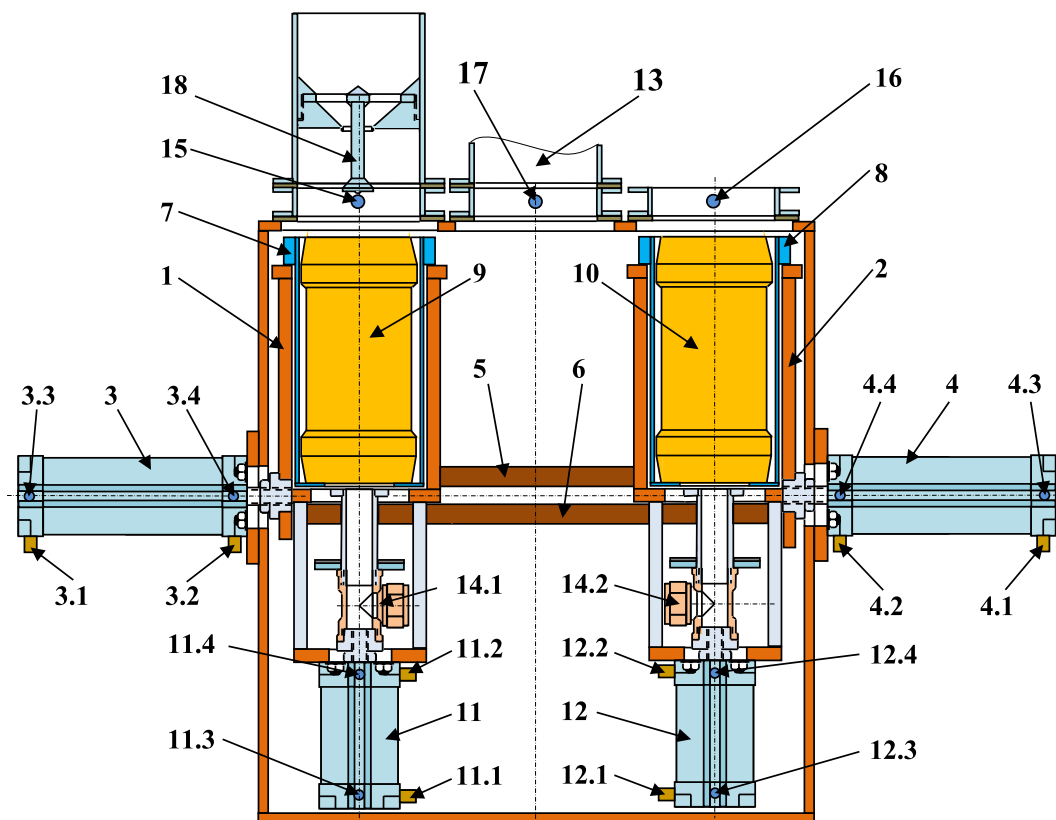


Рис. 3. Станция загрузки проб в транспортный контейнер

– отправка груженого транспортного контейнера путем подачи транспортирующего сжатого воздуха через тройник 14.2.

Для осуществления автоматической загрузки подготовленной к отправке пробы транспортный контейнер 9 с помощью пневмоцилиндра 11, поднимаясь вверх, входит в контакт с упором узла загрузки пробы 18 в результате чего открывается загрузочный клапан транспортного контейнера (появляется информационный сигнал от магнитного датчика 11.4) и выдается информационный сигнал «Готов к загрузке пробы», по которому подготовленная к отправке проба загружается в транспортный контейнер.

После завершения загрузки пробы в транспортный контейнер (например, по выдержке времени) выдаются последовательные команды, для дальнейшей отправки транспортного контейнера.

Последовательность этих операций следующая:

– приемный стакан 7 с груженым транспортным контейнером 9 с помощью пневмоцилиндра 11 опускается до упора вниз (появляется информационный сигнал от электромагнитного датчика 11.3);

– приемный стакан 7 с груженым транспортным контейнером 9 с помощью пневмоцилиндра 3 горизонтально перемещается под транспортный трубопровод 13 (появляется информационный сигнал от электромагнитного датчика 4.4);

– приемный стакан 7 с груженым транспортным контейнером 9 с помощью пневмоцилиндра 11 поднимается вверх до контактного соприкосновения приемного стакана 7 с транспортным трубопроводом 13, обеспечивая герметизацию трассы доставки контейнера до следующего устройства системы пневмотранспорта (появляется информационный сигнал от электромагнитного датчика 11.4);

– отправка груженого транспортного контейнера путем подачи транспортирующего сжатого воздуха через тройник 14.1.

Отключение подачи транспортирующего сжатого воздуха (в первом и втором вариантах) осуществляется после получения от сопряженного устройства информационного сигнала

«Контейнер доставлен» о приеме отправленного груженого транспортного контейнера.

Данное состояние станции загрузки проб сохраняется до момента возвращения после загрузки порожнего транспортного контейнера.

При возврате порожнего транспортного контейнера в станцию загрузки проб приемный стакан 7 (или 8) находится в контакте с транспортным трубопроводом 13, о чем свидетельствует информационный сигнал от электромагнитного датчика 11.4 (или 12.4), по которому выдается команда на подачу транспортирующего сжатого воздуха для перемещения порожнего контейнера в станцию загрузки пробы.

По прибытию порожнего транспортного контейнера в станцию загрузки пробы срабатывает электромагнитный датчик 17, сигнал которого используется для отключения подачи транспортирующего сжатого воздуха по транспортному трубопроводу 13 и выработки управляющих сигналов для дальнейших перемещений доставленного порожнего транспортного контейнера в исходное положение с помощью пневмоцилиндров 11 (или 12) и 3 (или 4).

На рис. 4 представлена конструкция автоматического стрелочного перевода направления движения контейнеров.

Автоматический стрелочный перевод, как и станция загрузки проб в транспортный контейнер, включает в себя две передвижные каретки 1 и 2, соединенные с пневмоцилиндрами 3 и 4 для их горизонтальных перемещений по направляющим 5 и 6. В передвижные каретки 1 и 2 установлены приемные стаканы 7 и 8 для приема, горизонтальных и вертикальных перемещений транспортных контейнеров 9 и 10 с помощью пневмоцилиндров 3, 4, 11 и 12.

В исходном положении передвижные каретки 1 и 2 находятся в крайних положениях, приемные стаканы 7 и 8 опущены (транспортные контейнеры 9 и 10 отсутствуют).

При составлении маршрута доставки груженого транспортного контейнера центральный процессор системы пневматической контейнерной доставки проб на анализ переводит СП1, СП 3, СП 6 и СП 8 в режим «Работа». Системы управления СП 1 и СП 6 с помощью пневмоцилиндров 11 поднимают приемные

стаканы 7 вверх до контактного соприкосновения с транспортным трубопроводом 13.2, а системы управления СП 3 и СП 8 с помощью пневмоцилиндров 12 поднимают приемные стаканы 8 вверх до контактного соприкосновения с транспортным трубопроводом 13.3, обеспечивая герметизацию трассы доставки грузевого контейнера из СЗП 1 в СРП 3 (о чем свидетельствует информационный сигнал от электромагнитных датчиков 11.4 и 12.4) и выдают в отправляющее устройство информационный сигнал «Готов принять грузево́й контейнер».

При получении этой информации СЗП 1 выдает команду на отправку грузевого транспортного контейнера.

При доставке отправленного транспортного контейнера по периферийному транспортному трубопроводу 13.2 (или 13.3) система управления стрелочным переводом выдает последовательные команды:

- при получении информационного сигнала от магнитного датчика 15 (или 16) – на опускание приемного стакана с доставленным транспортным контейнером;

- при получении информационного сигнала от магнитного датчика 11.3 (или 12.3) – на перевод передвигжной каретки 1 (или 2) с доставленным транспортным контейнером под транспортный трубопровод 13.1;

- при получении информационного сигнала от магнитного датчика 3.4 (или 4.4) – на подъем приемного стакана 7 (или 8) до упора с транспортным трубопроводом 13.1;

- при получении от принимающего устройства информационного сигнала «Готов принять транспортный контейнер» – на его отправку;

- при получении от принимающего устройства информационного сигнала «Транспортный контейнер принят» – на отключение подачи транспортирующего сжатого воздуха и на опускание приемного стакана 7 (или 8);

- при получении информационного сигнала от магнитного датчика 11.3 или (12.3) – на перевод доставленного порожнего транспортного контейнера в исходное положение.

На рис. 5 представлена конструкция станции разгрузки проб из транспортных контейнеров, которая, как и предыдущие устройства,

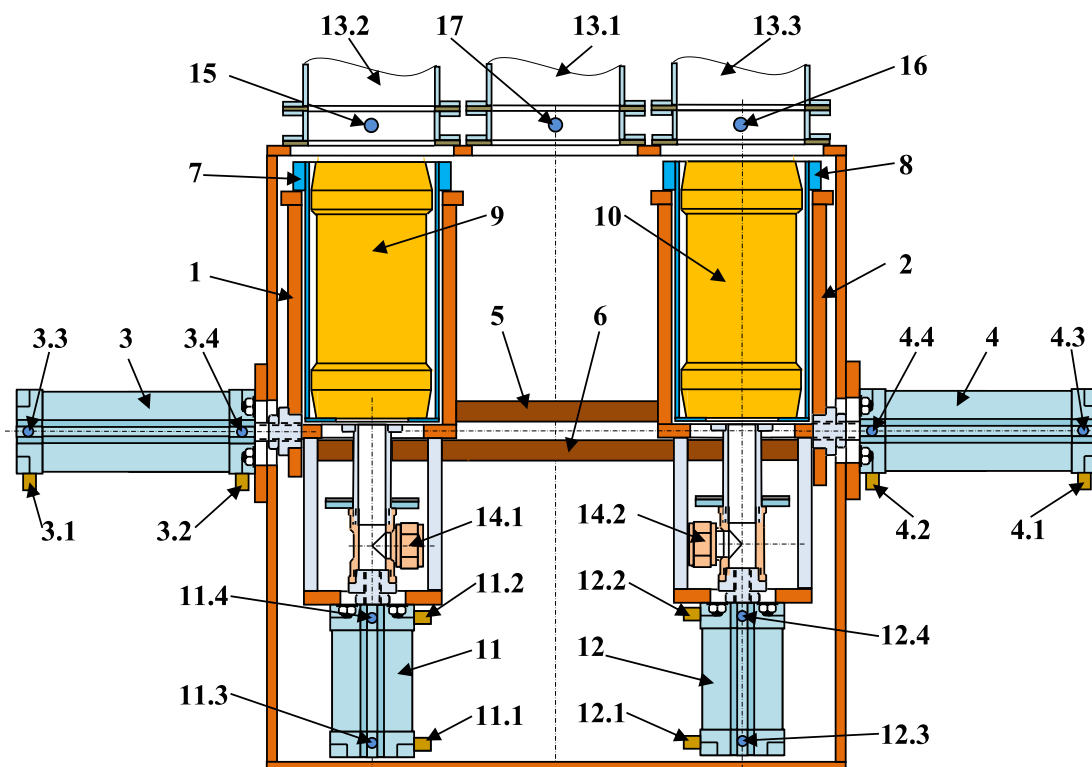


Рис. 4. Иллюстрация автоматического стрелочного перевода

включает в себя две передвижные каретки 1 и 2, соединенные с пневмоцилиндрами 3 и 4 для их горизонтальных перемещений по направляющим 5 и 6. В передвижные каретки 1 и 2 устанавливаются стаканы 7 и 8 для приема и горизонтальных и вертикальных перемещений транспортных контейнеров 9 и 10 с помощью пневмоцилиндров 11 и 12, которые жестко соединены с передвижными каретками 1 и 2.

В исходном положении передвижные каретки 1 и 2 находятся в крайних положениях, приемные стаканы 7 и 8 опущены (транспортные контейнеры 9 и 10 отсутствуют).

Автоматическая разгрузка груженого транспортного контейнера осуществляется при открытии нижнего клапанного затвора, для автоматического открытия которого используются те же механизмы, что и СЗП, но с добавлением дополнительных устройств, устанавливаемых на горизонтальных перегородках 19 и 20 с возможностью их вертикального перемещения. К этим устройствам относятся: узел автоматической разгрузки проб из транспортного контейнера 15 и полые толкатели 22 и 23 (через толкатель 22 и тройники 14.1 и 14.2 при отправке транспортных контейнеров 9 и 10 подается транспортирующий сжатый воздух).

При составлении маршрута доставки груженого транспортного контейнера центральный процессор системы пневматической контейнерной доставки проб на анализ переводит СРП 3 в режим «Работа» и сообщает способ разгрузки доставляемого транспортного контейнера (А или Р). Система управления СРП 3 с помощью пневмоцилиндра 3 (или 4) переводит приемный стакан 7 (или 8) под транспортный трубопровод 13.1, а затем с помощью пневмоцилиндра 11 (или 12) поднимает приемный стакан до контактного соприкосновения с транспортным трубопроводом 13.1, обеспечивая герметизацию трассы доставки груженого транспортного контейнера. При появлении информационного сигнала от электромагнитного датчика 11.4 (или 12.4) система управления СРП 3 выдает в отправляющее устройство информационный сигнал «Готов принять груженный контейнер».

При автоматической разгрузке доставляемая проба собирается в маркированный лоток

24, который устанавливает оператор на специальную подставку 25 и соответствует номеру доставленной пробы. Система управления станцией разгрузки проб идентифицирует соответствие доставляемой пробы и установленного лотка 24, и при подтверждении соответствия выдает сигнал «Готов» на прием доставляемого груженого транспортного контейнера.

После приема груженого транспортного контейнера по сигналу от электромагнитного датчика 17 приемный стакан 7 с доставленным транспортным контейнером 9 с помощью пневмоцилиндра 11 опускаются и при появлении информационного сигнала от магнитного датчика 11.3 с помощью пневмоцилиндра 3 горизонтально перемещаются к устройству автоматической разгрузки доставленной пробы из транспортного контейнера.

После получения информационного сигнала от магнитного датчика 3.3 выдается команда на пневмоцилиндр 11 для подъема узла автоматической разгрузки проб 15. Упор узла разгрузки входит в контакт с нижним (разгрузочным) клапаном транспортного контейнера, и при дальнейшем подъеме доставленная проба через воронку и отводную трубку из контейнера поступает в приемный маркированный лоток.

Через определенное время (установленное экспериментально) узел автоматической разгрузки проб из транспортного контейнера 15 опускается, и по сигналу от магнитного датчика 11.3 система управления СРП выдает управляющие команды на последовательное выполнение следующих операций:

- горизонтальное перемещение приемного стакана 7 и находящегося в нем порожнего транспортного контейнера под транспортный трубопровод 13.1 с помощью пневмоцилиндра 3, о чем свидетельствует появление информационного сигнала от магнитного датчика 3.4;

- вертикальное перемещение приемного стакана 7 и находящегося в нем порожнего транспортного контейнера до упора с транспортным трубопроводом 13.1, о чем свидетельствует получение информационного сигнала от магнитного датчика 12.4;

- подача транспортирующего сжатого воздуха через тройник 14.1 и толкатель 22, в

результате чего порожний транспортный контейнер начинает перемещение в свою станцию загрузки проб;

– после получения информационного сигнала о доставке порожнего транспортного контейнера в принимающее устройство система управления станцией разгрузки проб отключает подачу транспортирующего сжатого воздуха и последовательно выдает управляющие команды на перевод передвижной каретки 1 с приемным стаканом 7 в исходное положение.

При получении информации о доставке транспортного контейнера с ручной загрузкой и разгрузкой система управления последовательно выдает управляющие команды: на вертикальное и горизонтальное перемещение передвижной каретки 2 под транспортный трубопровод 13.1 и на подъем приемного стакана 8 для герметизации выхода транспортного трубопровода.

После приема груженого транспортного контейнера по сигналу от электромагнитного датчика 17 приемный стакан 8 с доставленным транспортным контейнером 10 опускаются с помощью пневмоцилиндров 12, 4, а затем с помощью пневмоцилиндра 12 перемещаются в положение для разгрузки доставленной пробы из транспортного контейнера. В этом положении доставленный груженный транспортный контейнер выходит за пределы корпуса СРП, и оператор вручную извлекает его из СРП, отвинчивает крышку и разгружает из него доставленную пробу. Затем оператор заворачивает крышку и вставляет транспортный контейнер в СЗП.

По информационному сигналу от магнитного датчика 16 система управления СРП выдает последовательные команды на:

– опускание приемной каретки 2 с приемным стаканом 8 и порожним транспортным

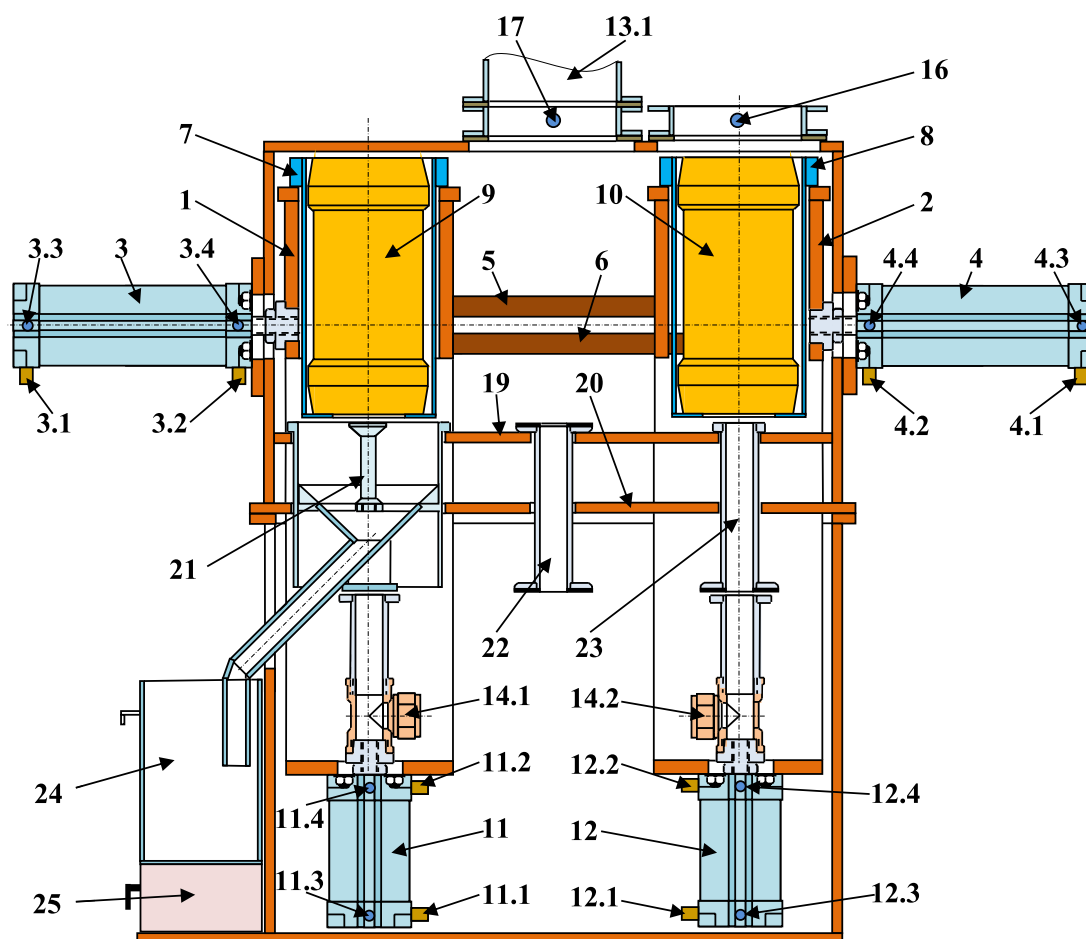


Рис. 5. Станция разгрузки проб из транспортного контейнера

контейнером 10 с помощью пневмоцилиндра 12 в положение для горизонтального перемещения;

– перемещение приемной каретки 2 с приемным стаканом 8 и порожним транспортным контейнером 10 с помощью пневмоцилиндра 4 под транспортный трубопровод 13.1;

– вертикальное перемещение приемного стакана 8 и находящегося в нем порожнего транспортного контейнера до упора с транспортным трубопроводом 13.1 с помощью пневмоцилиндра 12, о чем свидетельствует получение информационного сигнала от магнитного датчика 12.4;

– подачу транспортирующего сжатого воздуха через тройник 14.2, в результате чего порожний транспортный контейнер начинает перемещение в свою станцию загрузки проб.

После получения информационного сигнала о доставке порожнего транспортного контейнера в принимающее устройство система управления станцией разгрузки проб отключает подачу транспортирующего сжатого воздуха и последовательно выдает управляющие команды на перевод передвижной каретки 2 с приемным стаканом 10 в исходное положение.

Заключение. В статье рассмотрены основные принципы построения цифровых автоматов Мили, которые относятся к классу устройств с последовательностным управлением и требующие анализировать при их управлении не только входные управляющие сигналы, но и состояние его устройств в предыдущие моменты времени, которые характеризуются комбинацией всех элементов памяти, сохраняющих информацию о состоянии сколь угодно долго.

Для примера рассмотрены основные устройства системы пневматической контей-

нерной доставки проб технологических продуктов на инструментальный анализ.

Показано, что все технические средства системы пневматической контейнерной доставки проб технологических продуктов на инструментальный анализ в основном используют унифицированный набор серийно выпускаемых устройств фирмы КАМОЦЦИ:

– компактные пневматические магнитные цилиндры модели серии 32 для осуществления перемещений – горизонтальных с ходом $X+30$ мм и вертикальных с ходом 40 мм (где X – внутренний диаметр транспортного трубопровода) – (поз. на рис. 3, 4 и 5-3, 4, 11 и 12);

– магнитные датчики положения для контроля завершения всех необходимых горизонтальных и вертикальных перемещений, а также прибытия в устройства транспортных контейнеров (груженых и порожних) – (поз. 3.3, 3.4, 4, 3, 4.4, 11.3, 11.4, 12.3, 12.3, 15, 16 и 17);

– электропневматические минираспределители прямого действия серии W или P для управления работой пневмоцилиндров (на рисунках не показаны);

– блоки для подготовки сжатого воздуха серии MX (на рисунках не показаны).

Кроме этих серийно выпускаемых изделий разработаны следующие узлы, которые применяются во всех устройствах:

– передвижные каретки (поз. 1 и 2),
– приемные стаканы (поз. 7 и 8),
– транспортный контейнер (поз. 9 и 10),
– узел подачи транспортирующего сжатого воздуха (поз. 14.1 и 14.2).

Также разработаны узлы для автоматической загрузки проб в транспортный контейнер (поз. 18) и для разгрузки проб из транспортного контейнера (поз. 21).

ЛИТЕРАТУРА

1. Минцаев М.Ш., Мачигова Ф.И., Чурикова Т.Г., Шаипов М.А. Результаты физико-химических исследований термальных вод комсомольского месторождения Чеченской Республики // Устойчивое развитие горных территорий. 2015. Т. 7. №4. С. 69-75.
2. Валерий Хмара. Универсальная контейнерная система пневмотранспорта проб на анализ. Основы, принципы построения, конструкция, алгоритмы функционирования, Lambert Academic Publishing [монография], 2012, ISBN: 978-3-8433-6602-1. С. 89.
3. Дедегкаев А.Г., Кабышев А.М., Лобоцкий Ю.Г., Хмара В.В. Концептуальные особенности универсальной системы последовательностного управления позиционными устрой-

- ствами // II Международная научно-практическая конференция «Современные научные исследования: методология, теория, практика» 2 июня 2014 г. Нижний Новгород, 2014. С. 180-193.
4. *Yurii Lobotskiy, Valerii Khmara, Alexandr Kabyshev, Albert Dedegkaev.* The Principle of the Complex Systems of Container Pneumatic Transport Using Multi-Purpose Switch Throwers // *Modern Applied Science.* Канада. Vol. 9. № 5. 2015. С. 228-246.
 5. *Раннев Г.Г.* Информационно-измерительная техника и электроника. Москва: Академия, 2006. 512 с.
 6. *Хмара В.В., Лобоцкий Ю.Г.* Оптимизация процессов автоматического отбора разовых проб и подготовки к отправке на анализ усредненной пробы // *Устойчивое развитие горных территорий*, 2014. № 1. С. 42-50.
 7. *Лобоцкий Ю.Г., Хмара В.В.* Пути повышения надежности автоматической загрузки проб в транспортный контейнер // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2014. № 2. С. 30-36.
 8. *Лобоцкий Ю.Г., Хмара В.В.* О проблемах автоматического отбора и доставки на анализ проб продуктов обогащительного и металлургического производства // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2013. № 4. С. 44-49.
 9. *Лобоцкий Ю.Г., Хмара В.В.* Станция автоматической разгрузки проб из транспортного контейнера // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2014. № 3. С. 35-42.
 10. *Лобоцкий Ю.Г., Хмара В.В.* Автоматические стрелочные переводы направления движения транспортных контейнеров. *Международный научный журнал // Устойчивое развитие горных территорий*. 2014. № 4. С. 27-35.
 11. *Дедегкаев А.Г., Кабышев А.М., Лобоцкий Ю.Г., Хмара В.В.* Оптимизация структуры и организации функционирования универсальной системы последовательностного управления позиционными устройствами // *Международная научно-практическая конференция «Технические науки: теория, методология и практика»*, г. Москва, 17 июня 2014 г. М., 2014. С. 45-67.

FEATURES OF INFORMATION AND TECHNICAL SUPPORT OF MEALY MACHINES OF A UNIFIED BRANCHED AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF CONTINUOUS TECHNOLOGICAL PROCESS

© ¹V. V. Khmara, ¹B. D. Khastsaev, ¹A. M. Kabyshev,

²D. N. Suvorov, ²A. V. Ilyukhin

¹NCMMI (STU), Vladikavkaz, Russia

²MARCSTU (MADI), Moscow, Russia

It is known that with automated control of any (continuous or discrete) technological process, it is necessary to carry out continuous or periodic control of technological parameters and, in particular, control of the composition of raw materials of mining and metallurgical enterprises, as well as many other industries. As a rule, information about a specific parameter is obtained in automated analytical control systems (ASAC), which includes a subsystem for automatic sampling and delivery of representative samples to the laboratory. The article considers the features of information and technical support of the subsystem for sampling and delivery of samples of technological products for analysis, the main devices for container delivery of samples of technological products for laboratory analysis are considered.

Keywords: Digital machines, automated analytical control system, container pneumatic transport system devices.

REFERENCES

1. Mintsaeв, M. S., Machigova, F. I., Churikova, T. G. and Shaipov, M. A. (2015) 'Rezultaty fiziko-khimicheskikh issledovaniy termal'nykh vod komsomol'skogo mestorozhdeniya Chechenskoй Respubliki'. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii*. [Results of physico-chemical studies of thermal waters of the Komsomolsk deposit of the Chechen Republic. Sustainable development of mountain territory]. Vol. 7. №4, pp. 69-75.
2. Khmara, Valery (2012) Universal'naya konteyner'naya sistema pnevmotransporta prob na analiz. Osnovy, printsipy postroyeniya, konstruktsiya, algoritmy funktsionirovaniya, [Universal container system for pneumatic transport of samples for analysis. Fundamentals, construction principles, design, functioning algorithms], Lambert Academic Publishing [monograph], ISBN: 978-3-8433-6602-1. P. 89.
3. Dedegkaev A. G., Kabyshev A. M., Lobotsky Yu. G. and Khmara V. V. 'Kontseptual'nye osobennosti universal'noi sistemy posledovatel'nostnogo upravleniya pozitsionnymi ustroystvami'. *II Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Sovremennye nauchnye issledovaniya: metodologiya, teoriya, praktika»*. [Conceptual features of a universal system for sequential control of positional devices. II International scientific and practical conference "Modern scientific research: methodology, theory, practice"]. Nizhny Novgorod, June 2, 2014, pp. 180-193.
4. Lobotskiy, Yurii, Khmara, Valerii, Kabyshev, Alexandr, Dedegkaev, Albert (2015) [The Principle of the Complex Systems of Container Pneumatic Transport Using Multi-Purpose Switch Throwers. Modern Applied Science]. Canada. Vol. 9, №5, pp. 228-246.
5. Rannev, G. G. (2006) Informatsionno – izmeritel'naya tekhnika i elektronika. [Information-measuring equipment and electronics]. Moscow, Academy, p. 512.
6. Khmara, V. V. and Lobotsky, Yu. G. (2014) 'Optimizatsiya protsessov avtomaticheskogo otbora razovykh prob i podgotovki k otpravke na analiz usrednennoi proby'. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii*. [Optimization of the processes of automatic selection of one-time samples and preparation for sending an average sample for analysis. Sustainable development of mountain territories]. №1, pp. 42-50.
7. Lobotsky, Yu. G. and Khmara, V. V. (2014) 'Puti povysheniya nadezhnosti avtomaticheskoi razgruzki prob v transportnyi konteyner'. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii* [Ways to improve the reliability of automatic loading of samples into a transport container. Sustainable development of mountain territories], №2, pp. 30-36.
8. Lobotsky, Yu. G., Khmara, V. V. (2013) 'O problemakh avtomaticheskogo otbora i dostavki na analiz prob produktov obogatitel'nogo i metallurgicheskogo proizvodstva'. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii*. [On the problems of automatic sampling and delivery for analysis of samples of products of enrichment and metallurgical production. Sustainable development of mountain territories №4, pp. 44-49.
9. Lobotsky, Yu. G. and Khmara, V. V. (2014) 'Stantsiya avtomaticheskoi razgruzki prob iz transportnogo konteynera'. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii* [Station for automatic unloading of samples from the transport container. Sustainable development of mountain territories]. №3, pp. 35-42.
10. Lobotsky, Yu. G. and Khmara, V. V. (2014) 'Avtomaticheskije strelchnye perevody napravleniya dvizheniya transportnykh konteynerov'. *Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal. Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii*, [Automatic turnouts of the direction of movement of transport containers. International scientific journal. Sustainable development of mountain territories], №4, pp. 27-35.
11. Dedegkaev, A. G., Kabyshev, A. M., Lobotsky, Yu. G. and Khmara, V. V. (2014) 'Optimizatsiya struktury i organizatsii funktsionirovaniya universal'noi sistemy posledovatel'nostnogo upravleniya pozitsionnymi ustroystvami'. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Tekhnicheskie nauki: teoriya, metodologiya i praktika»*, g. Moskva, 17 iyunya 2014g. [Optimization of the structure and organization of the functioning of a universal system for sequential control of positional devices. International Scientific and Practical Conference "Technical Sciences: Theory, Methodology and Practice", Moscow, June 17, 2014, pp. 45-67.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВНУТРЕННЕЙ ШИНЫ ОБМЕНА ПРОГРАММИРУЕМОГО КОНТРОЛЛЕРА ПО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМУ КАНАЛУ

© В. А. Чумычкин, Н. А. Галанина
ЧГУ им. И. Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

Рассматривается проблема реализации внутренней шины контроллера на основе различных последовательных интерфейсов. Представлены результаты исследования внутренней шины контроллера на основе последовательного канала UART, позволяющие получить необходимое время цикла обмена основного процессора с модулями ввода/вывода при значительном уменьшении аппаратных затрат. Для критически важных сигналов достигнуто время обмена не более 1 мс, для стандартных сигналов – не более 10 мс. Разработан программный протокол передачи данных для обмена с 200 малоканальными модулями дискретного и аналогового ввода/вывода. На основе предложенного решения выполнено успешное внедрение контроллера для АСУ ТП водогрейных котлов.

Ключевые слова: промышленные логические контроллеры, ПЛК, цифровой последовательный интерфейс, внутренняя шина UART, встроенные системы, архитектура ПЛК, STM8, STM32, K1986BE92QI.

Введение. Все современные промышленные логические контроллеры (ПЛК) имеют модульную структуру, состоящую из основного модуля высокопроизводительного центрального процессора (ЦП) и различных модулей ввода/вывода: дискретных, аналоговых, интерфейсных. Такая структура обеспечивает простое и гибкое конфигурирование системы под различные задачи автоматизации и унификацию модулей для малых и больших задач. Для обеспечения связи модулей между собой в контроллере присутствует высокоскоростная внутренняя шина данных. Её структура определяет основные характеристики ПЛК по удобству монтажа, надежности и быстродействию [10].

В первых поколениях ПЛК это была параллельная шина, она обеспечивала высокое быстродействие и простоту аппаратной реализации, но обладала низкой надежностью и дороговизной из-за большого количества контактов при небольшой длине линии и значительных габаритах устройства.

Все современные ПЛК снабжены в основном высокоскоростными последовательными

внутренними шинами, т.к. они обладают минимальным количеством линий связи, простотой межмодульного соединения с возможностью контроля целостности передаваемых данных. При этом пропускная способность современных последовательных передатчиков существенно выросла, несмотря на необходимость передачи, кроме полезных данных, дополнительной служебной информации: синхросигналов, заголовков пакетов, контрольных сумм и т.д.

Для повышения скорости обмена и приоритетной обработки сообщений для некоторых применений в электроэнергетике используются много-магистральные последовательные внутренние интерфейсы [3].

Для авиационной и космической отрасли в качестве внутренней магистрали, с учетом специфики функционирования и требований по резервированию, применяется магистральный последовательный интерфейс [1, 2].

Рассмотрим особенности организации наиболее распространенных последовательных шин ПЛК – RS-485, CAN, Ethernet, которые обладают высокой надежностью и поме-

хозащищённостью даже при длинных линиях связи [1, 5, 9].

Шины RS-485 и CAN относительно просты в программной реализации, но требуют встроенных в микроконтроллер периферийных модулей UART и CAN, соответственно, а также дополнительных микросхем согласования физического уровня [12, 13, 14].

Шина Ethernet обладает наибольшим быстродействием, но отличается высокой сложностью программной реализации, требованием к наличию интегрированного в кристалл узла контроллера MAC (Media Access Control) и внешней микросхемы трансивера физического уровня PHY (Physical Layer) с изолирующим трансформатором [4]. При этом для топологии сети «звезда» необходимо использование внешнего коммутатора с большим количеством каналов, а для топологии сети «кольцо» – более дорогого внешнего трансивера PHY со встроенным 3-канальным коммутатором. Сложность реализации программного стека Ethernet требует наличия во всех модулях высокопроизводительного микроконтроллера, с выделенной памятью только на эти нужды, как минимум 64Кб ПЗУ и 16Кб ОЗУ.

Производители ПЛК обычно не раскрывают подробные принципы реализации внутренних шин, но в целом можно выделить основные программные протоколы реализации системной шины на основе данных интерфейсов:

- Ethernet – PROFINET, EtherCAT, POWERLINK, FBUS;
- CAN – CANopen, DeviceNet;
- RS-485 – MODBUS, PROFIBUS и т. д.

Оценим среднюю стоимость электронных компонентов различных производителей для поддержки внутренних последовательных шин контроллера, необходимых для ре-

ализации физического уровня и программного протокола. В табл. 1 представлена минимально возможная стоимость необходимых компонентов в зависимости от типа шины ПЛК (по цене, указанной на сайтах основных производителей электронных компонентов для крупных партий от 3000 шт. без учета доставки и налогов).

Как видно из представленных данных, при большом количестве модулей существенно увеличиваются накладные расходы на интерфейс шины относительно стоимости непосредственно самого микроконтроллера модуля. А при повсеместном внедрении малой автоматизации и Интернета вещей (internet of things, IoT) [8], для которых характерны большое разнообразие различных типов модулей, используемых одновременно в одном проекте, небольшое количество сигналов на одном модуле и малые габаритные размеры устройства, существенное конкурентное преимущество имеет низкая цена отдельных модулей и конечного изделия в целом.

Для решения задачи уменьшения себестоимости рассмотрим организацию внутренней шины без дополнительной микросхемы физического уровня по асинхронному последовательному каналу UART, который доступен в большинстве недорогих микроконтроллеров и отличается простотой программной реализации.

Аппаратная реализация внутренней шины по интерфейсу UART. Для примера возьмём STM8S003, один из самых распространённых микроконтроллеров в низшем ценовом сегменте стоимостью \$0.27, имеющий следующие характеристики: тактовая частота 16 МГц, 8 Кб ПЗУ, 1 Кб ОЗУ, последовательный канал UART с максимальной скоростью передачи 1 Мбод, 16 портов ввода-вывода,

Таблица 1
Минимальная стоимость компонентов для поддержки шины данных на каждый модуль

Тип шины данных	Ethernet	CAN	RS-485
Микроконтроллер с поддержкой функции	\$ 3.5	\$ 1.5	\$ 0.3
Микросхема физического уровня и дополнительные компоненты	\$ 2.5	\$ 1	\$ 0.5
Всего	\$ 6	\$ 2.5	\$ 0.8

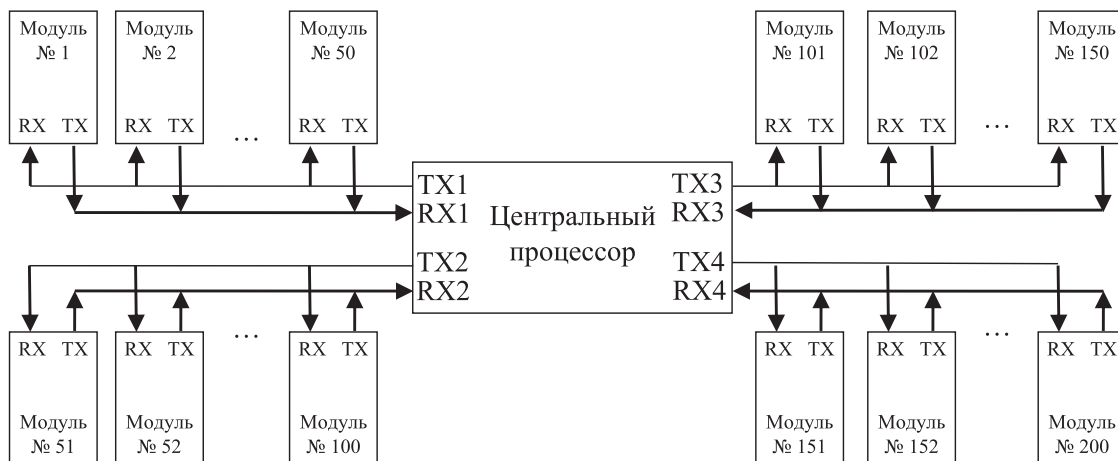


Рис. 1. Структура внутренней шины ПЛК

включая 5 каналов АЦП, малогабаритный корпус UFQFPN20 размером 3х3 мм.

В данном случае, без дополнительных микросхем преобразования физического уровня, с использованием только микроконтроллера в компактном корпусе UFQFPN20, возможно изготовление модулей ввода/вывода с количеством до 7 дискретных или 3 аналоговых каналов с очень малыми габаритными размерами – не более 1 см в ширину. При необходимости в этих же габаритах также возможна установка дополнительных элементов гальванической изоляции, например, с каждой стороны печатной платы по ширине размещается до 3-х оптронов TLP291, 2-х оптореле CPC1008 или 2-х узких механических реле HF41F. Таким образом, длина линии связи для 50 модулей составит не более 50 см. Это позволяет использовать канал UART на максимально допустимой для STM8S003 скорости обмена в 1 Мбод и сохранения безошибочной передачи данных. Структура внутренней шины для ПЛК с 4 внутренними шинами UART представлена на рис. 1.

Таким образом, из 200 малоканальных модулей, объединенных относительно короткими линиями UART, возможно создание ПЛК с общим количеством более 600 входов/выходов

со свободной конфигурацией различных типов модулей.

Ресурсов выбранного микроконтроллера модуля достаточно для первичной обработки входных и выходных дискретных и аналоговых сигналов, фильтрации помех, автономного подсчета импульсов до 10 КГц, формирования битов ошибок, перевода при необходимости в заранее заданное безопасное состояние выходов при потере связи, с дальнейшей синхронизацией по последовательному каналу UART с высокопроизводительным центральным процессором, выполняющим основную технологическую программу автоматизации промышленных процессов. Малое количество каналов на модулях ввода/вывода позволяет свободно сформировать контроллер как для малых, так и больших систем на единой аппаратной базе с минимальной избыточностью и, соответственно, минимальными габаритными размерами и стоимостью.

Рассмотрим подробнее организацию обмена по UART. В стандартном применении UART позволяет выполнить только соединение точка-точка, с одним ведущим устройством (Master) и одним ведомым устройством (Slave). Данный режим представлен на рис. 2.

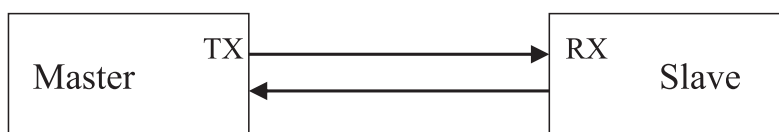


Рис. 2. Соединение точка-точка UART

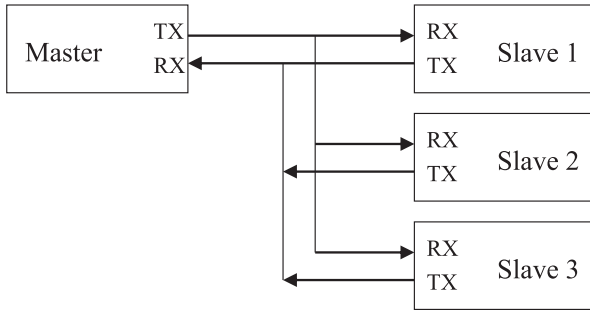


Рис. 3. Многоточечное соединение UART

В современных микроконтроллерах, благодаря наличию дополнительного бита конфигурации TXEN, появилась возможность многоточечного соединения UART. Он позволяет без отключения приемника (RX) отключить передатчик (TX) ведомого устройства с переводом данной ножки микроконтроллера из режима двухтактного выхода (push-pull) в высокоимпедансное состояние (Z – состояние, floating), при этом исключается конфликт на линии при наличии нескольких передатчиков. В данном режиме возможна реализация обмена согласно рис. 3, без использования дополнительных логических микросхем для объединения линии TX от нескольких Slave устройств.

Программная реализация внутренней шины по интерфейсу UART. В общепринятой стандартной реализации протокола обмена суммарное время t_c , необходимое для обмена с одним устройством, определяется (рис. 4):

- t_{tx} – время передачи запроса от ведущего устройства в шину ПЛК;
- t_{txa} – время обработки полученного запроса от ведущего устройства, проверки его целостности и контрольной суммы, кода операции, подготовки отклика и включения передатчика Slave устройства;
- t_{rx} – время передачи отклика от ведомого устройства в шину ПЛК;

- t_{rxa} – время отключения передатчика Slave устройства, обработки полученного отклика от ведомого устройства, проверки его целостности и контрольной суммы, кода операции, и подготовки следующего запроса.

В общем случае, когда длина запроса и отклика заранее не определена, ведущее устройство не может начать следующую посылку до полной обработки предыдущего цикла передачи/приема для исключения одновременного выхода на линию двух Slave устройств и возникновения коллизии на линии. Таким образом, общее время цикла обмена t_{all} для n абонентов будет определяться согласно формуле 1:

$$t_{all} = n t_c \quad (1)$$

В частном случае, когда длина отклика гарантированно меньше длины запроса, возможна передача следующего запроса без ожидания обработки отклика, что значительно ускоряет обмен, при этом должно выполняться условие согласно формуле 2:

$$t_{tx} \geq t_{rx} + t_{txa} + t_{rxa} \quad (2)$$

Диаграмма данного ускоренного режима представлена на рис. 5.

Как видно из диаграммы, при приеме последнего отклика передача запроса от ведущего устройства уже не происходит, поэтому в данном случае общее время цикла обмена t_{all} для n абонентов будет равно:

$$t_{all} = (n + 1) \cdot t_c \quad (3)$$

Для более полноценного использования линии TX во время приема последнего отклика возможно произвести отправку пакета, предназначенного для всех модулей и не требующего отклика (рис. 6). В частности, в нем могут содержаться команды синхронизации времени, задания конфигурации режима работы для всех модулей и другие сервисные операции.

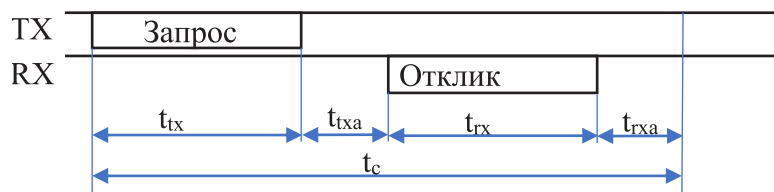


Рис. 4. Диаграмма стандартного режима передачи-приема

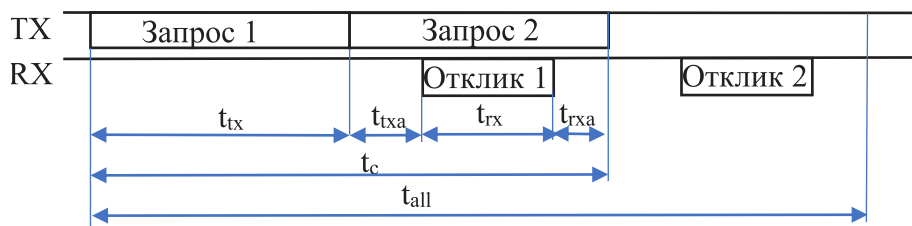


Рис. 5. Диаграмма ускоренного режима передачи-приема

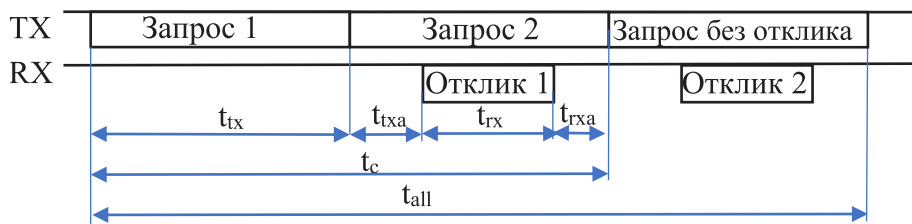


Рис. 6. Диаграмма ускоренного режима передачи-приема с общим пакетом

Оценим минимальное возможное время обработки t_{txa} и t_{rxa} в микроконтроллерах для определения того, на сколько байт длина отклика должна быть меньше запроса согласно формуле 2.

Для расчета возьмём максимальную скорость обмена STM8S003, равную 1 Мбод, что соответствует времени передачи 1 байта за 10 мкс, для режима UART 8N1 (1 старт бит, 8 бит данных, 1 стоп бит).

Выполним оценку времени выполнения подпрограмм прерываний по последовательному каналу для нескольких типов микроконтроллеров с разной архитектурой и характеристиками, не хуже STM8S003. Полученные результаты времени выполнения оптимизированных подпрограмм прерывания по заверше-

нию приема и передачи представлены в табл. 1 и осциллограмме на рис. 7.

Следует отметить, что микроконтроллеры выполнены на разных архитектурах, поэтому время выполнения одинаковых программ, написанных на языке Си, нелинейно зависит от частоты микроконтроллеров. Из особенностей аппаратной реализации и конфигурации модулей UART для микроконтроллеров STM8S можно отметить дополнительное аппаратное время ожидания в 1 байт (после переключения линии TX из Z-состояния в режим передачи и непосредственно передачей данных по ней), обратное переключение происходит без задержек [11].

Как показано в таблице 1, суммарное время $t_{txa} + t_{rxa}$ не превышает времени передачи

Таблица 1
Временные характеристики используемых микроконтроллеров в модулях входов/выходов

	STM8S003	STM32F103	STM32L432	K1986BE92QI
Частота, МГц	16	72	80	80
Время выполнения одной инструкции, нс	62,5	13,9	12,5	12,5
Время выполнения прерывания по завершению приема пакета запроса, t_{txa} , мкс	16,5	3,6	3,4	3,5
Время выполнения прерывания по завершению передачи пакета отклика, t_{rxa} , мкс	2,2	1,2	1,0	1,1
Суммарное время, $t_{txa} + t_{rxa}$, мкс	18,7	4,8	4,4	4,6

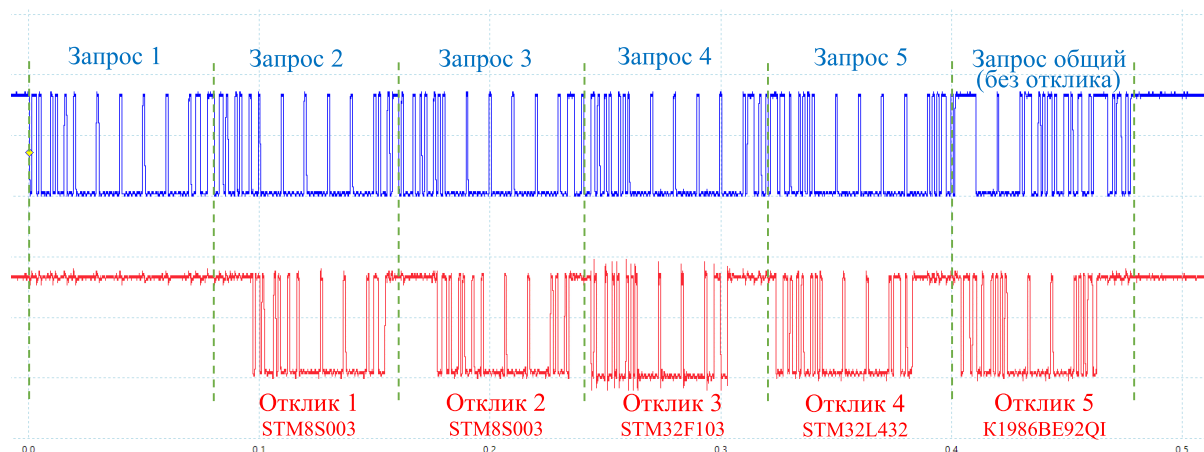


Рис. 7. Осциллограмма передачи-приема для 5 модулей с различными микроконтроллерами

2-х байт (20 мкс), соответственно наиболее оптимальным будет принять количество байт отклика на 2 байта меньше количества байтов запроса. В этом случае линии TX и RX приемопередатчика позволяют передать максимальное количество информационных байт в единицу времени.

Оценим максимальное количество байт запроса и отклика для всех типов модулей входов/выходов контроллера, выделив минимально необходимые байты для приема-передачи в каждом пакете:

- адрес модуля (1 байт) – возможно подключение до 255 модулей на 1 последовательный канал;

- тип модуля и его исполнение (1 байт) – возможно расширение до 256 различных типов модулей и их модификаций;

- информационные данные модуля (3 байта), зависящие от типа модуля: значение параметра, номер параметра и диагностическая информация, оценка для различных типов модулей представлена в табл. 2;

- контрольная сумма пакета для модуля (1 байт).

В итоге максимальное количество передаваемых данных для отклика составляет 6 байт, что соответствует 8 байтам запроса и времени обмена с одним модулем $t_c=80$ мкс. Т. к. оценка проведена для минимального количества ин-

Таблица 2

Оценка информационной части пакета для различных типов модуля

Тип модуля	Количество байт запроса	Количество байт отклика
дискретные входы – до 7 каналов	1	1
дискретные входы в счетном режиме, разрядность счетчика 16-24 бит	3	3
дискретные выходы – до 7 каналов	1	1
аналоговые входы, разрядность значения АЦП 16-24 бит	1	3
аналоговые выходы, разрядность значения ЦАП 16-24 бит	3	1
интерфейсные модули RS-485, CAN, WIFI, Ethernet, GSM, с возможностью передачи за цикл обмена не менее 16 бит обработанных данных, суммарно 256 байт за 16 пакетов/циклов	3	3
Итого, максимум	3	3

формации в пакете, свободные биты, при выбранном для всех типов модулей едином количестве 8 байт запроса и 6 байт отклика, могут быть использованы для более удобной конфигурации и расширенной диагностики модулей.

Представленная на рис. 6 диаграмма для обмена с большим количеством модулей, в данном случае, легко реализуется в ведущем обмене модуле центрального процессора параллельно по нескольким каналам UART. При этом можно отметить следующие преимущества:

- благодаря фиксированному размеру пакета, не зависящего от типа модуля, возможна очень быстрая реализация подпрограмм прерывания или использование каналов прямого доступа к памяти (DMA) с последующей реализацией обработки содержимого пакета в основной программе;

- при использовании каналов DMA отсутствуют многократные прерывания основной технологической программы на каждый байт или пакет, что особо важно для систем реального времени;

- формирование запросов и анализ пакетов откликов происходит один раз за цикл на все модули после их обработки в основной технологической программе.

Оценим обеспечение периодичности опроса сигналов не более 1 мс для соответствия требованиям по точности фиксации событий и значений дискретных и аналоговых сигналов по отношению к системному времени. Данные требования присутствуют, например, для некоторых критически важных сигналов программно-технических комплексов для автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) тепловых электростанций в части подсистем технологических защит [6].

Такие сигналы можно выделить на модули ввода-вывода, подключённые на последовательные каналы UART с количеством модулей n не более 11. Согласно формуле 3, время обмена по данным каналам UART составит:

$$t_{all} = (n+1) \cdot t_c = (11+1) \cdot 80 = 960 \text{ мкс}.$$

Таким образом, при необходимости будет выполнено требование к периодичности опро-

са сигналов не более 1 мс, что для 4 последовательных каналов внутренней шины UART позволяет суммарно обрабатывать до 44 модулей ввода/вывода с циклом обмена не более 1 мс.

При установке максимального количества – 200 модулей, цикл обмена составит не более 4,08 мс, что соответствует большинству задач АСУ ТП, для которых стандартно применяется требование к периодичности опроса не более 10 мс.

Благодаря соответствию общим техническим требованиям к программно-техническим комплексам для АСУ ТП тепловых электростанций, возможно применение контроллера на основе предложенного решения для систем управления котлоагрегатами, как в рамках среднего и нижнего уровня для непосредственного управления процессом, сбора информации и реализации управляющих воздействий, так и в части систем защит и блокировок [7].

Результаты. Были проведены успешные лабораторные испытания с подключением 200 модулей различных типов по 4-м последовательным каналам к центральному процессору ПЛК, выполненному на основе высокопроизводительного микроконтроллера STM32H743. Установленные в ПЛК интерфейсные модули RS-485 использовались для связи с удалёнными объектами по индивидуальным линиям, при этом обмен со SCADA системой осуществлялся по дублированному интерфейсу Ethernet центрального процессора.

Дополнительно опробован вариант сборки небольшого контроллера для удалённого сбора и управления, в котором интерфейсный модуль RS-485 на основе микроконтроллера STM32L432 использовался уже в качестве процессора ПЛК и осуществлял обмен с 50-ю модулями входов/выходов по одному последовательному каналу.

Программирование технологической части программы для обоих вариантов ПЛК осуществлялось на языках стандарта МЭК 61131-3.

Для всех вариантов периодичность опроса сигналов соответствует расчётным данным.

При испытании на помехозащищённость не выявлено возникновение ошибок на внутренней шине, достигнуто 100% качество свя-

зи и отсутствие сбойных пакетов. Это достигнуто благодаря малой длине линии связи – не более 50 см, а также использованием специальных мер защиты с локальным экранированием линии на печатных платах на всех участках.

Разработанная модель внутренней шины обладает минимальной стоимостью по сравнению с шинами Ethernet, CAN и RS-485/RS-422,

но при этом позволяет реализовать достаточно большие проекты по автоматизации. На основе данной разработки успешно выполнено опытное внедрение АСУ ТП для реализации функций информационного сбора, управления общекотельным оборудованием и химводоподготовкой, регулирования технологических параметров для водогрейных котлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванов В. А.* Анализ и разработка внутренней магистрали для блока управления летательного космического аппарата / *В. А. Иванов, Ю. В. Савченко, А. Н. Серов, А. Н. Луковников* // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. №12-2. С. 68-74.
2. ГОСТ Р 52070-2003. Интерфейс магистральной последовательной системы электронных модулей.
3. *Дубовой Н. Д., Портнов Е. М.* Межмодульный внутренний интерфейс распределенных систем управления в энергетике // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2011. №4. С. 80-84.
4. *Каршенбойм И.* Внутриприборный интерфейс на микросхемах фирмы Micrel // Компоненты и технологии. 2009. №5 (94). С. 46-54.
5. *Мишин С. А., Галанина Н. А.* Выбор способа передачи данных // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции, Чебоксары, 04 июня 2021 года / Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова. Чебоксары, 2021. С. 54-55.
6. РД 153-34.1-35.127-2002 Общие технические требования к программно-техническим комплексам для АСУ ТП тепловых электростанций.
7. *Садыков Х. А., Сусуркаев Х. Н., Амхадов М. А.* Автоматизация производства пара для бытовых и производственных потребителей // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2019. Т. 15. №3 (17). С. 29-34.
8. *Хаджиева Л. К., Мальцагов Х. Х.* Анализ технологии «интернет вещей» (IOT) и ее роль в «умном доме» // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2019. Т. 15. №4 (18). С. 27-32.
9. *Шишов О. В.* Программируемые контроллеры в системах промышленной автоматизации: учебник. Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2017. 474 с.
10. *Bryan L. A., Bryan E. A.* Programmable Controllers Theory and Implementation, 2nd Edition. Industrial Text Company Publication, Atlanta. 1997.
11. Reference manual. STM8S Series and STM8AF Series 8-bit microcontrollers. [Электронный ресурс]. URL: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0016-stm8s-series-and-stm8af-series-8bit-microcontrollers-stmicroelectronics.pdf (дата обращения: 10.05.2022).
12. *Xiang Sun, Zhao Feng, Ren Xucai, Luo Xuan, Hao Fengqi.* The research of PLC architecture based on CAN BUS. 2010 Second Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and System. 2010. Vol. 2. Pp. 225-227.
13. *Xiang Sun, Zhao Feng.* The research of synchronization control with PLC based on the bus of serial communications. 2010 Second Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and System. 2010. Vol. 2. Pp. 228-231.
14. *Вахидова К. Л., Минцаев М. Ш., Исаева М. Р., Пашаев В. В.* Алгоритм распознавания основных дефектов поверхностей колец подшипников с применением метода фрактальной размерности и нейронных сетей // Инженерный вестник Дона. 2022. №3 (87). С. 124-132.

HARDWARE AND SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE PLC INTERNAL SERIAL COMMUNICATION BUS

© V. A. Chumychkin, N. A. Galanina

CSU named after I. N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

The problem of implementing the internal bus of a programmable logic controller (PLC) based on various serial interfaces is considered. Developed a solution for the internal bus of the PLC based on the serial channel UART, which can significantly reduce the cost of hardware and at the same time get the necessary cycle time of the exchange of the main processor with the I / O modules. The exchange time for critical signals is less than 1 ms, for standard signals – no more than 10 ms. Software protocol for data exchange with 200 low-channel digital and analog I/O modules was developed. Successful implementation of the controller, based on the proposed solutions, for automated process control systems of hot water boilers was carried out.

Keywords: PLC, digital serial interface, internal bus, UART, embedded systems, PLC architecture, microcontrollers, STM8, STM32, K1986BE92QI.

REFERENCES

1. Ivanov, V. A., Savchenko, Yu. V., Serov, A. N. and Lukovnikov, A. N. (2014) 'Analiz i razrabotka vnutrenney magistrali dlya bloka upravleniya letatel'nogo kosmicheskogo apparata' [Analysis and development of an internal highway for the control unit of an aircraft spacecraft] *Izvestiya Tula State University. Technical sciences*, № 12-2. Pp. 68-74.
2. 'GOST R 52070-2003. Interfeys magistralnyy posledovatelnyy sistemy elektronnykh moduley' [GOST R 52070-2003. The interface is a backbone serial system of electronic modules].
3. Dubovoy, N. D. and Portnov, E. M. (2011) 'Mezhmodulnyy vnutrenniy interfeys raspredelennykh sistem upravleniya v energetike' [Intermodular internal interface of distributed control systems in power engineering] *Defense complex – scientific and technical progress of Russia*, № 4. Pp. 80-84.
4. Karshenboym., I. (2009) 'Vnutripribornyy interfeys na mikroskhemakh firmy Micrel' [Intra-device interface on microchips of the Micrel company] *Components and Technologies*, № 5 (94). Pp. 46-54.
5. Mishin, S. A. and Galanina, N. A. (2021) 'Vybor sposoba peredachi dannykh' [Choosing a data transmission method]. *Dynamics of nonlinear discrete electrical and electronic systems: proceedings of the XIV All-Russian Scientific and Technical Conference*, Cheboksary, June 04, 2021. I. N. Ulyanov Chuvash State University. Cheboksary. Pp. 54-55.
6. 'RD 153-34.1-35.127-2002 Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya k programmno-tekhnicheskim kompleksam dlya ASU TP teplovykh elektrostantsiy' [RD 153-34.1-35.127-2002 General technical requirements for software and hardware complexes for automated control systems of thermal power plants].
7. Sadykov, Kh. A., Susurkayev, Kh. N. and Amkhadov, M. A. (2019) 'Avtomatizatsiya proizvodstva para dlya bytovykh i proizvodstvennykh potrebiteley' [Automation of steam production for household and industrial consumers]. *Herald of GSTOU. Technical sciences*. Vol. 15, № 3 (17). Pp. 29-34.
8. Khadzhiev, L. K., Maltsagov, Kh. Kh. (2019) 'Analiz tekhnologii "internet veshchey" (IOT) i eye rol v "umnom dome"' [Analysis of the Internet of Things (IOT) technology and its role in the smart home]. *Herald of GSTOU. Technical sciences*. Vol. 15, № 4 (18). Pp. 27-32.
9. Shishov, O. V. (2017) 'Programmiruyemyye kontrollery v sistemakh promyshlennoy avtomatizatsii: uchebnik' [Programmable controllers in industrial automation systems:

- textbook.] Moscow: Limited Liability Company “Scientific and Publishing Center INFRA-M”. 474 p.
10. Bryan, L. A. and Bryan, E. A. (1997) Programmable Controllers Theory and Implementation, 2nd Edition. Industrial Text Company Publication, Atlanta.
 11. Reference manual. STM8S Series and STM8AF Series 8-bit microcontrollers. Available at: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0016-stm8s-series-and-stm8af-series-8bit-microcontrollers-stmicroelectronics.pdf (Accessed: 10.05.2022).
 12. Xiang, Sun, Zhao, Feng, Ren, Xucai, Luo, Xuan and Hao Fengqi. (2010) Research of PLC architecture based on CAN BUS. 2010 Second Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and System. Vol. 2. Pp. 225-227.
 13. Xiang, Sun, Zhao, Feng. (2010) Research of synchronization control with PLC based on the bus of serial communications. 2010 Second Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and System. Vol. 2. Pp. 228-231.
 14. Vakhidova, K. L., Mintshev, M. Sh., Isaeva, M. R. and Pashaev, V. V. (2022) ‘Algorithm raspoznavaniya osnovnyh defektov poverhnostej kolec podshipnikov s primeneniem metoda fraktal’noj razmernosti i nejronnyh setej. *Inzhenernyj vestnik Dona*’. [Algorithm for recognition of the main defects of the surfaces of bearing rings using the fractal dimension method and neural networks. Don Engineering Gazette]. №3 (87). Pp. 124-32.

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 66.047.7:669.295

DOI: 10.34708/GSTOU.2022.35.69.005

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШИХТЫ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ ТИТАНОВЫХ ОКАТЫШЕЙ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ

© А. Л. Рутковский, Э. М. Бахтеев, А. М. Макоева, Х. А. Бутов
СКГМИ (ГТУ), Владикавказ, Россия

Рассматривается задача оптимизации и управления газодинамическими показателями шихты. Влажность шихты является главным параметром, и с этим параметром связаны скорость просасывания воздуха, насыпная масса, усадка слоя и скорость перемещения зоны сушки. Методами регрессионного анализа построены математические модели зависимости газопроницаемости слоя шихты, усадки слоя, насыпной массы и скорости перемещения в зоны сушки от её влажности. Находится выражение для оптимальной влажности шихты.

На основе теоретических и экспериментальных данных составлена компьютерная имитационная программа, позволяющая определить оценку оптимальных параметров в производстве получения окатышей.

Математическая обработка экспериментальных результатов позволила получить уравнения регрессии, которые адекватны экспериментальным данным.

Однако при воздействии на процесс неконтролируемых возмущений (гранулометрический состав шихты, её температура, высота слоя шихты) положение экстремума будет смещаться. Для компенсации этих воздействий предлагается оснастить обжиговую машину измерительной вакуум-камерой (ИВК), которая устанавливается на входе машины перед первой рабочей камерой. ИВК оснащается индивидуальным насосом для просасывания воздуха. Разрежение в ИВК стабилизируется системой автоматического регулирования. При этих условиях расход воздуха через ИВК полностью соответствует газопроницаемости слоя шихты. Величина расхода воздуха через ИВК подается на вход экстремального регулятора, управляющего подачей воды в окомкователь. Такая система непрерывно поддерживает максимальную газопроницаемость слоя шихты и наилучшие показатели процесса.

Ключевые слова: газопроницаемость шихты, оптимальная влажность, производство окатышей, математическое моделирование, оптимизация.

Математическое моделирование долгое время имело решающее значение для понимания и прогнозирования явлений в тяжелой промышленности и металлургии [1].

Целью моделирования любого технологического процесса является установление количественной зависимости выходного параметра от одного или группы входных параметров, ко-

торые могут изменяться случайно [2].

Эффективное решение задачи оптимального управления любым сложным объектом, как правило, связано с достаточно полным рассмотрением физической сущности протекающих в нем процессов и анализом их особенностей. При этом первоочередной задачей является построение математической модели объекта

управления, позволяющей осуществить выбор структуры и параметров системы управления, формирование критериев оптимальности и ограничений, решение задач прогнозирования и т. д. [3, 4].

Технология окомкования (производства окатышей) в титановом производстве является одним из основных способов получения кусковых продуктов, который заключается в изготовлении из увлажненных тонкоизмельченных концентратов шариков диаметром 10-25 мм с последующей их сушкой и обжигом при температуре 1250-1350°C, в процессе которого они приобретают высокую механическую прочность, что позволяет, в отличие от агломерата, хранить их неограниченное время и перевозить на любые расстояния.

Получение сырых окатышей включает в себя следующие операции:

- 1 – дозирование компонентов шихты для обеспечения заданного химического состава;
- 2 – перемешивание шихты с целью получения однородной смеси;
- 3 – увлажнение шихты и окатывание ее в гранулы во вращающемся тарельчатом или барабанном окомкователе;
- 4 – выдача сырых окатышей диаметром 10-25 мм и транспортировка их к обжиговым машинам.

Производят два вида окатышей – неофлюсованные и офлюсованные.

В состав шихты при производстве неофлюсованных окатышей входят концентрат, возврат и бентонит; офлюсованных – те же компоненты плюс известняк [5, 6].

Все эти материалы имеют крупность менее 0,074 мм. Содержание фракции 0-0,070 мм в концентрате должно быть не менее 85-90%, а влажность – 9%. В гранулятор также подают некоторое количество крупного возврата (до 0,5 мм), кусочки которого служат зародышами комков. В этом случае предварительное измельчение возврата не требуется [7].

Важным этапом в производстве окатышей является процесс увлажнения шихты (исходного сырья) для достижения её оптимальной газопроницаемости с целью увеличения производительности агломерационных машин и повышения качества готового продукта. Газо-

проницаемость шихты в сильной степени зависит от ее абсолютной влажности. Для материала данного минералогического и гранулометрического состава существует только одно оптимальное значение влажности, которое с возможной степенью точности необходимо поддерживать вручную или автоматически [8, 9].

На практике влажность шихты колеблется в широких пределах из-за, например, изменений давления воды в водопроводе и изменений массы шихты, проходящей через окомкователь в единицу времени. Кроме того, все время меняются минералогический и гранулометрический составы сырья, а вместе с ними и величина оптимальной влажности шихты, соответствующей максимальной газопроницаемости [10].

Газопроницаемость окомкованной агломерационной шихты определяется тремя факторами: гранулометрическим составом исходной шихты, содержанием влаги и режимом окомкования [11].

Содержание влаги оказывает очень сильное влияние на газопроницаемость слоя окомкованной шихты. Результаты исследования Г.И. Волковицкого, Н.М. Якубцинера, Ю.П. Смирнова, Н.З. Плоткина, В.И. Коротича [12] показали, что при изменении влажности существенно меняются свойства окомкованной шихты: насыпная масса, прочность комочков, структура слоя и его газопроницаемость. Типичный характер зависимости этих параметров от влажности шихты показал, что при постепенном увеличении влажности шихты уменьшается ее насыпная масса (увеличивается пористость слоя), растет газопроницаемость. Шихта получает минимальное значение по достижении определенной влажности насыпной массы, с дальнейшим увеличением влажности пористость слоя начинает падать, а газопроницаемость продолжает расти. Такая зависимость характеризуется изменением режима окомкования и соответственно изменением структуры шихты [13, 14]. В дальнейшем, проанализировав результаты, авторы пришли к выводу, что значение оптимальной влажности шихты, при котором получается максимальная вертикальная скорость спекания, примерно на

1 % меньше влажности, соответствующей наибольшей газопроницаемости исходной шихты.

Результаты данного исследования позволяют получить математические модели, с помощью которых можно найти близко к исходной величине оптимальные значения влажности и газодинамических параметров шихты. Построение аппроксимирующих и интерполирующих функций осуществляется применением возможностей программы Mathcad. Для обработки результатов по известным экспериментальным данным были использованы методы регрессии общего вида и полиномиальной регрессии [15, 16, 18]. Окончательно приняты модели, дающие наибольшую точность.

Как правило, регрессия очень эффективна, когда заранее известен (или, по крайней мере, хорошо угадывается) закон распределения данных $(x1, y1)$ [17, 19].

Далее приведены результаты, выполненные в системе Mathcad, подготовка исходных данных, регрессия общего вида, полиномиальная регрессия, расчет погрешностей интерполяции и графическая иллюстрация результатов вычислений обработки данных.

На основе экспериментальных и расчетных данных сформированы координаты исходных точек в виде матрицы. Математическая обработка экспериментальных результатов позволила получить приведенные ниже уравне-

ния регрессии, связывающие влажность шихты на скорость просасывания воздуха через слой шихты (1), насыпную массу (2), усадку слоя (3) и скорость перемещения зоны сушки (4).

Экспериментальные данные, которые приведены в работе [12], дают графические выражения взаимосвязи следующих параметров процесса: скорость просасывания воздуха ϑ , насыпная масса d , усадка слоя Δh и скорость перемещения зоны сушки ϑ_1 в зависимости от влажности шихты ω .

В результате обработки экспериментальных данных получено следующее уравнение регрессии:

$$\vartheta(\omega) = 2,493 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{\omega} + 3,877 \cdot 10^{-3} \cdot \omega^3 - 4,066 \cdot 10^{-4} \cdot e^{\omega} \quad (1)$$

где $R=0.99$ – коэффициент корреляции, $F_{расч} = 47.422$, $F_{табл} = 4.876$ – расчетное и табличное значения критерия Фишера для доверительной вероятности $\gamma = 0.95$.

На рис. 1 на основе уравнения (1) приведен график зависимости влажности шихты ω на скорость просасывания воздуха ϑ . Из рис. 1 следует, что полученная модель сходится с экспериментальными данными.

Влияние влажности шихты на насыпную массу аппроксимировано следующим уравнением регрессии (2):

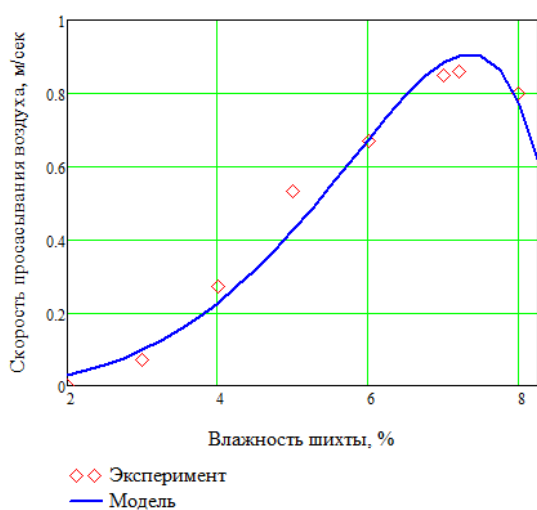


Рис. 1. График влияния влажности агломерационной шихты ω (%) на скорость просасывания воздуха ϑ (м/сек)

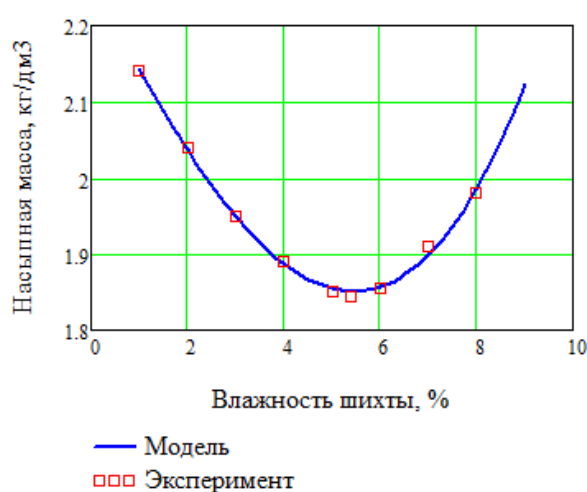


Рис. 2. Влияние влажности агломерационной шихты ω (%) на насыпную массу шихты ϑ (кг/дм³)

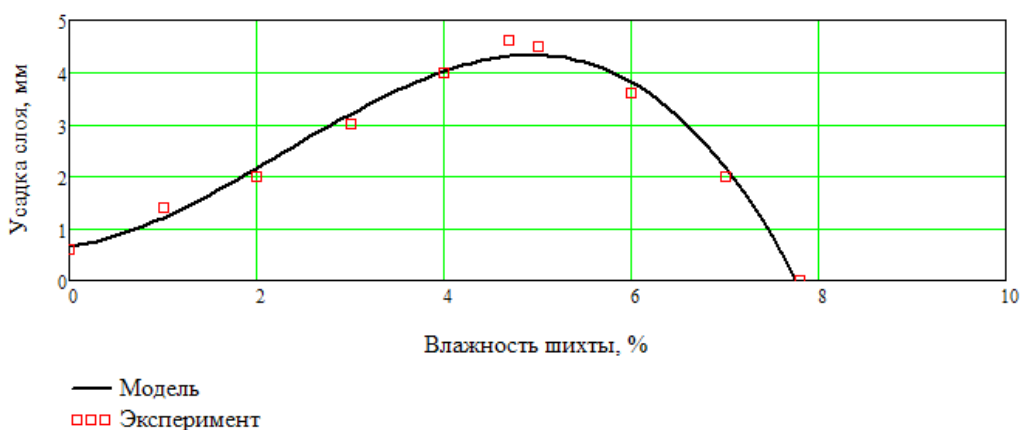


Рис. 3. Влияние влажности агломерационной шихты ω (%) на усадку слоя шихты Δh (мм)

$$d(\omega) = 8.678 \cdot 10^{-4} \cdot \omega^3 + 4.357 \cdot 10^{-3} \cdot \omega^2 - 0.125 \cdot \omega + 2.262 \quad (2)$$

где $R=0.998$ – коэффициент корреляции, $F_{расч} = 322.434$, $F_{табл} = 4.876$ – расчетное и табличное значения критерия Фишера для доверительной вероятности $\gamma = 0.95$.

Результаты расчета приведены на рис. 2.

Влияние влажности шихты на усадку слоя представлено следующим уравнением регрессии (3):

$$\Delta h(\omega) = -0.05 \cdot \omega^3 + 0.348 \cdot \omega^2 + 0.26 \cdot \omega + 0.646 \quad (3)$$

где $R=0.992$ – коэффициент корреляции, $F_{расч} = 61.758$, $F_{табл} = 3.388$ – расчетное и табличное значения критерия Фишера для доверительной вероятности $\gamma = 0.95$.

На рис. 3 на основе уравнения регрессии (3) приведен график зависимости влажности шихты от усадки слоя.

Влияние влажности шихты на скорость перемещения зоны сушки представлено следующим уравнением регрессии (4):

$$\vartheta_1(\omega) = 0.064 \cdot \omega^3 - 2.242 \cdot \omega^2 + 20.386 \cdot \omega - 42.536 \quad (4)$$

где $R=0.995$ – коэффициент корреляции, $F_{расч} = 96.03$, $F_{табл} = 4.876$ – расчетное и табличное значения критерия Фишера для доверительной вероятности $\gamma = 0.95$.

Результаты расчета приведены на рис. 4.

Однако при воздействии на процесс не-

контролируемых возмущений (гранулометрический состав шихты, её температура, высота слоя шихты) положение экстремума будет смещаться. Для компенсации этих воздействий предлагается оснастить обжиговую машину измерительной вакуум-камерой (ИВК), которая устанавливается на входе машины перед первой рабочей камерой. ИВК оснащается индивидуальным насосом для просасывания воздуха (рис. 5).

Разрежение в ИВК стабилизируется системой автоматического регулирования. При этих условиях расход воздуха через ИВК полностью соответствует газопроницаемости слоя шихты. Величина расхода воздуха через ИВК подается на вход экстремального регулятора, управляющего подачей воды в окомкователь. Такая система непрерывно поддерживает максимальную газопроницаемость слоя шихты и наилучшие показатели процесса.

Устройство для регулирования подготовки шихты в производстве титановых окатышей включает гранулятор 1 и обжиговую машину, содержащую зоны подогрева и сушки, зону обжига и зону охлаждения с соответствующими вакуум-камерами, а также индивидуальными вакуумными насосами. Устройство дополнительно снабжено измерительной вакуум-камерой 6, соединенной с индивидуальным вакуумным насосом 7 и установленной на обжиговой машине перед вакуум-камерой 2 зоны сушки. Измерительная вакуум-камера 6 снабжена системой стабилизации разрежения и системой

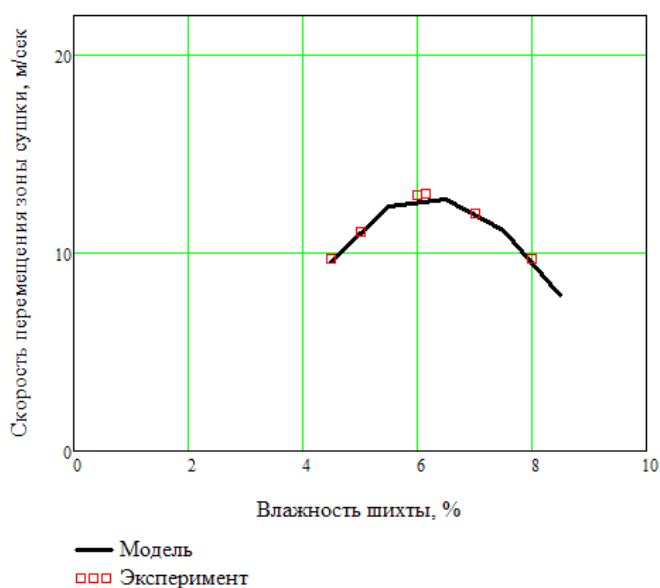


Рис. 4. Влияние влажности агломерационной шихты ω (%) на скорость перемещения зоны сушки ϑ_7 (м/сек).

контроля расхода воздуха. При этом система стабилизации разрежения включает датчик 8 контроля разрежения, исполнительный механизм 9 и заслонку 10, установленную на вакуум-камере 6, а система контроля расхода воздуха включает датчик 11 контроля расхода воздуха и экстремальный регулятор 12, связанный через исполнительный механизм 13 с заслонкой 14 регулирования расхода воды.

Устройство работает следующим образом.

Шихту подают на гранулятор 1, где происходит ее окомкование. Затем сырые окатыши поступают в зону сушки обжиговой машины. С помощью вакуумного насоса 7 воздух просасывают через слой сырых окатышей в измерительную вакуум-камеру 6, в которой разрежение стабилизируют системой стабилизации разрежения. При этом значения разрежения фиксирует датчик 8 контроля разрежения, который, в свою очередь, подает сигнал на исполнительный механизм 9, управляющий заслонкой 10. С помощью изменения положения заслонки 10 система стабилизации разрежения поддерживает его значение в вакуум-камере 6 постоянным. При постоянном разрежении в вакуум-камере 6 расход воздуха через нее зависит от газопроницаемости слоя окатышей. Для управления газопроницаемостью сигнал

с датчика 11 контроля расхода воздуха, проходящего через вакуум-камеру 6, поступает на вход экстремального регулятора 12, который через исполнительный механизм 13 с помощью заслонки 14 регулирует расход воды на вход гранулятора 1. Система контроля расхода воздуха обеспечивает подачу такого количества воды на гранулятор 1, при котором достигается оптимальная газопроницаемость слоя окатышей, определяемого по максимальному расходу воздуха через вакуум-камеру 6 при постоянном разрежении в ней. Окатыши с оптимальной газопроницаемостью после зоны подогрева и сушки движутся по обжиговой машине через зоны обжига и охлаждения, в которых происходит спекание и упрочнение окатышей. Качественный готовый продукт после обжиговой машины выгружается на грохот. Устройство для подготовки шихты в производстве титановых окатышей позволит быстро отрегулировать газопроницаемость слоя даже при изменении состава шихты, что значительно повысит качество окатышей на выходе из обжиговой машины и снизит количество продукта, направляемого в оборот.

Данное устройство позволит упростить управление процессом обжига, повысит качество готового продукта за счет оперативного управления элементами устройства и оптимизации газопроницаемости слоя шихты.

Таким образом, использование экспериментальных данных в сочетании с моделированием позволило получить связь влажности шихты со скоростью просасывания воздуха; зависимости влажности шихты с насыпной массой; усадкой слоя и скоростью перемещения зоны сушки, и найдена корреляция между ними.

В ходе обработки исходных данных средствами функций Mathcad были получены два варианта уравнения регрессии: общего вида и полиномиальная.

Адекватность уравнений регрессий (1) – (4) подтверждена с помощью критерия Фишера.

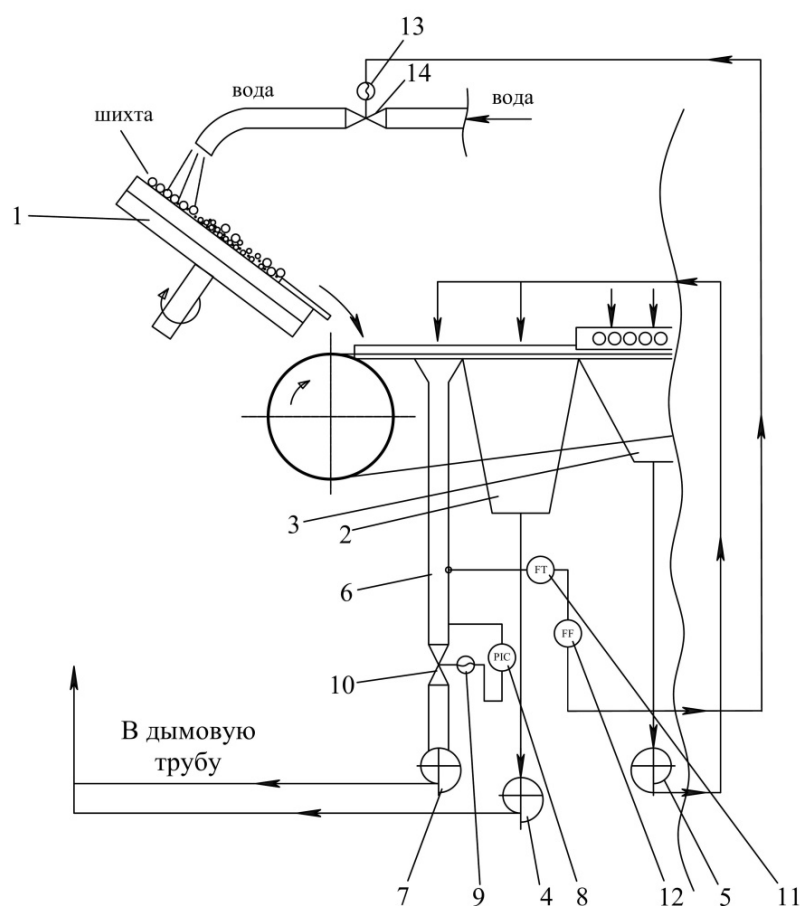


Рис. 5. Фрагмент обжиговой машины с установленной измерительной вакуум-камерой

Высокое значение коэффициента корреляции ($R=0,99$) подтверждает этот результат.

Математическую модель процесса получения окатышей можно использовать для разработки математических моделей многих технологических процессов, проводимых в агломашинах. Для компенсации неуправляемых воздействий предлагается оснастить обжиговую машину измерительной вакуум-камерой (ИВК), которая устанавливается на входе машины перед первой рабочей камерой. ИВК оснащается

индивидуальным насосом для просасывания воздуха. Разрежение в ИВК стабилизируется системой автоматического регулирования. При этих условиях расход воздуха через ИВК полностью соответствует газопроницаемости слоя шихты. Величина расхода воздуха через ИВК подается на вход экстремального регулятора, управляющего подачей воды в окомкователь. Такая система непрерывно поддерживает максимальную газопроницаемость слоя шихты и наилучшие показатели процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pär Jönsson, Lage Tord, Ingemar Jonsson, Anders Tilliander, Robert Eriksson. Mathematical Modeling of Metallurgical Processes / Third International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries // CSIRO, Melbourne, Australia, 10-12 December 2003. Pp. 48-66.
2. Нурадинов А. С., Уздиева Н. С., Балатханова Э. М., Тенцаев А. Н. Математическое моделирование процессов формирования литых заготовок при непрерывной разливке стали // Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XV. №2 (16). 2019. С. 56-66.

3. Арунянц Г.Г., Рутковский А.Л., Алборов Э.К., Сидоров Д.В., Диденко А.А. Оценка и корректировка параметров математических моделей при адаптивном управлении нестационарными технологическими процессами // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. техн. науки. 2004. Спецвыпуск. С. 47-50.
4. Агеев Н.Г. Моделирование процессов и объектов в металлургии: уч. пособие / Н.Г. Агеев. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. 108 с.
5. Zhu D. Iron ore palletization / D. Zhu, J. Pan, L. Lu, R. J. Holmes // Iron Ore. 2015. Pp. 435-473.
6. Павловец В.М. Окатыши в технологии экстракции металлов из руд: учеб. пособие. Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. 345 с.
7. Братковский Е.В. Лабораторный практикум по дисциплине «Экстракция черных металлов из природного и техногенного сырья» для студентов, обучающихся по направлению «Металлургия» / Е.В. Братковский, А.В. Заводяный, А.Е. Пареньков. Орск: «Маркет сервис», 2008. 112 с.
8. Moraes S, Ribeiro T. Iron Ore Pelletizing Process: An Overview, Iron Ores and Iron Oxide Materials. Chapter 3 / S. Moraes, J. Lima, T.R. Ribeiro. London: IntechOpen, 2018. 280 p.
9. Deepak N. An Optimal Route for the Preparation of Metallized Composite Pellets from Ilmenite Concentrate / Nayak Deepak, Ray Nigamananda, Das Nilima, S. RathSwagat, PatiSoobhankar, S., De. Partha // Journal of Sustainable Metallurgy. 2021. №7. Pp. 1102-1115.
10. Алешин Е.А. Математическая модель зависимости газопроницаемости шихты от ее влажности в процессе производства агломерата // Вестник ЮУрГУ, 2010. №2. С. 37-40.
11. Коротич В.И. Теоретические основы окомкования железорудных материалов / В.И. Коротич. М.: Металлургия, 1966. 251 с.
12. Коротич В.И. Газодинамика агломерационного процесса / В.И. Коротич, В.П. Пузанов. М.: Металлургия, 1969. 208 с.
13. Рутковский А.Л. Оптимизации режима технологического процесса сушки титановых окатышей в агрегате туннельного типа / А.Л. Рутковский, З.Г. Салихов, М.А. Ковалева, Э.М. Бахтеев // Цветные металлы. 2021. №5. С. 89-94.
14. Komiyama K.M. Numerical analysis of titanium compounds in blast furnace hearth during titania addition / K.M. Komiyama, B.-Y. Guo, H. Zoughbi // Steel Research International. 2014. №6. Pp. 592-603.
15. Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации / Е.Ф. Вегман. М.: Металлургия, 1974. 208 с.
16. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Е.Н. Львовский. М.: Высшая школа, 1988. 239 с.
17. Кирьянов Д.В. Mathcad 14 / Д.В. Кирьянов. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. 704 с.
18. Нурадинов А.С. Разработка технологических режимов валковой разливки-прокатки металлических сплавов / А.С. Нурадинов, А.С. Эльдарханов, Ю.И. Кондратьев, И.А. Нурадинов // Сталь. 2021. №10. С. 8-12.
19. Атаева А.Ю. Применение седиментационного метода с центрифугированием для оценки гранулометрического состава пылевидных материалов на предприятиях Северного Кавказа / А.Ю. Атаева, З.М. Дреев, Г.И. Свердлик, Х.С. Хосаев // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2017. №3 (7). С. 8-11.

SIMULATION OF THE GAS-DYNAMIC PARAMETERS OF THE CHARGE IN THE PROCESS OF OBTAINING TITANIUM PELLETS FOR THE PURPOSE OF OPTIMIZATION

© A. L. Rutkovsky, E. M. Bakhteev, A. M. Makoeva, H. A. Butov

NCMMI (STU), Vladikavkaz, Russia

The problem of optimization and control of the gas-dynamic parameters of the charge is considered. The moisture content of the charge is the main parameter and the rate of air suction, bulk mass, shrinkage of the layer and the speed of movement of the drying zone are associated with this parameter. Using the methods of regression analysis, mathematical models of the dependence of the gas permeability of the charge layer, the shrinkage of the layer, the bulk mass and the speed of movement to the drying zones on its moisture content are constructed. An expression is found for the optimal moisture content of the charge.

On the basis of theoretical and experimental data, a computer simulation program has been compiled, which makes it possible to determine the assessment of optimal parameters in the production of pellets.

Mathematical processing of the experimental results made it possible to obtain regression equations that are adequate to the experimental data.

However, when the process is affected by uncontrolled perturbations (granulometric composition of the charge, its temperature, the height of the charge layer), the position of the extremum will shift. To compensate for these impacts, it is proposed to equip the roasting machine with a measuring vacuum chamber (MVC), which is installed at the machine inlet in front of the first working chamber. MVC is equipped with an individual pump for sucking air. The vacuum in the MVC is stabilized by an automatic control system. Under these conditions, the air flow through the MVC fully corresponds to the gas permeability of the charge layer. The air flow rate through the MVC is fed to the input of the extreme regulator that controls the water supply to the pelletizer. Such a system continuously maintains the maximum gas permeability of the charge bed and the best process performance.

Keywords: charge gas permeability, optimal moisture content, pellet production, mathematical modeling, optimization.

REFERENCES

1. PärJönsson, Lage TordIngemar, Jonsson, Anders, Tilliander, Robert Eriksson. 'Mathematical Modeling of Metallurgical Processes'. *Third International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries*. CSIRO, Melbourne, Australia, 10-12 December 2003. pp. 48-66.
2. Nuradinov, A. S., Uzdieva, N. S., Balatkhanova, E. M. and Tepsaev, A. N. (2019) 'Matematicheskoe modelirovanie protsessov formirovaniya litykh zagotovok pri nepreryvnoi razlivke stali'. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki*. [Mathematical modeling of the processes of the formation of cast units in the continuous casting of steel. Herald of GSTOU. Technical sciences]. Volume XV, №2 (16), pp. 56-66.
3. Arunyants, G. G., Rutkovskiy, A. L., Alborov, E. K., Sidorov, D. V. and Didenko, A. A. (2004) 'Otsenka i korrrektirovka parametrov matematicheskikh modelei pri adaptivnom upravlenii nestatsionarnymi tekhnologicheskimi protsessami' *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. Region. Tekhn. Nauki, 2004. Spetsvyypusk*. [Estimation and correction of parameters of mathematical models in adaptive control of non-stationary technological processes. Izv. Univer. North Caucasus region. Tech. sciences, Special issue]. P. 47-50.
4. Ageev, N. G. (2016) *Modelirovanie protsessov i ob"ektov v metallurgii: uch. Posobie*. [Modeling of Processes and Objects in Metallurgy]. UrFU, Ekaterinburg 108 p.

5. Zhu, D, Pan, J. Lu, L., Holmes, R. J. (2015) Iron ore palletization. *Iron Ore*. 2015. Pp. 435-473.
6. Pavlovets, V. M. (2014) *Okatyshi v tekhnologii ekstraktsii metallov iz rud: ucheb. posobie*. [Pellets in the Technology of Extraction of Metals from Ores]. SibSIU, Novokuznetsk, 345 p.
7. Bratkovskiy, E. V., Zavodyany, A. V. and Parenkov, A. E. (2008) *Laboratornyi praktikum po distsipline «Ekstraktsiya chernykh metallov iz prirodnogo i tekhnogenogo syr'ya» dlya studentov, obuchayushchikhsya po napravleniyu «Metallurgiya»*. [Laboratory workshop on the discipline "Extraction of ferrous metals from natural and technogenic raw materials" for students studying in the direction of "Metallurgy".], «Market service», Orsk, 112 p.
8. Moraes, S., Lima, T. and Ribeiro, JR. (2018) *Iron Ore Pelletizing Process: An Overview*, *Iron Ores and Iron Oxide Materials*. Chapter 3. IntechOpen, London, 280 p.
9. Deepak, N., Nigamananda, R., Nilima, D., RathSwagat, S., PatiSoobhankar, S. and Partha, De. (2021) 'An Optimal Route for the Preparation of Metallized Composite Pellets from Ilmenite Concentrate'. *Journal of Sustainable Metallurgy*. № 7. Pp. 1102-1115.
10. Aleshin, E. A. (2010) 'Matematicheskaya model' zavisimosti gazopronitsaemosti shikhty ot ee vlazhnosti v protsesse proizvodstva aglomerata'. *Vestnik YuUrGU*. [Mathematical model of a charge gas permeability function from its moisture in the agglomerate production. Bulletin of the South Ural State University]. №2. Pp. 37-40.
11. Korotich, V. I. (1966) *Teoreticheskie osnovy okomkovaniya zhelezorudnykh materialov*. [Theoretical Foundations of Pelletization of Iron Ore Materials]. Metallurgy Publishing House, Moscow 251 p.
12. Korotich, V. I. and Puzanov, V. P. (1969) *Gas dynamics of the sintering process*. Metallurgy Publishing House, Moscow, 208 p.
13. Rutkovskiy, A.L. Salikhov Z.G., Kovaleva M.A. and Bakhteev E.M. (2021) 'Optimizatsii rezhima tekhnologicheskogo protsessa sushki titanovykh okatyshей v agregate tunnel'nogo tipa'. [An optimized process of drying titanium pellets in a tunnel kiln]. *Tsvetnye Metally*. №5. Pp. 89-94.
14. Komiyama, K., Guo, M. and B.-Y. Zoughbi, H. (2014) 'Numerical analysis of titanium compounds in blast furnace hearth during titania addition'. *Steel Research International*. №6. Pp. 592-603.
15. Vegman, E. F. (1974) *Teoriya i tekhnologiya aglomeratsii*. [Theory and Technology of agglomeration]. Metallurgy, Moscow 208 p.
16. Lvovskiy, E. N. (1988) *Statisticheskie metody postroeniya empiricheskikh formul*. [Statistical methods for constructing empirical formulas]. Vysh. shk. Publ., Moscow, 239 p.
17. Kiryanov, D. V. (2007) *Mathcad 14*. Sankt Petersburg. BHV-Petersburg, 704 p.
18. Nuradinov, A. S. Eldarkhanov, A. S., Kondratiev, Yu. I. and Nuradinov, I. A. (2021) 'Razrabotka tekhnologicheskikh rezhimov valkovoy razlivki-prokatki metallicheskikh splavov'. *Stal'*. [Development of technological modes of roll casting-rolling of metal alloys. Steel]. №10. Pp. 8-12.
19. Ataeva, A. Yu., Dreev, Z. M., Sverdlik, G. I. and Khosaev, Kh. S. (2017) 'Primenenie sedimentatsionnogo metoda s centrifugirovaniem dlja ocenki granulometricheskogo sostava pyl'veidnykh materialov na predpriyatijah Severnogo Kavkaza'. *Groznenskij estestvennonauchnyy bjulleten*. [Application of the sedimentation method with centrifugation to assess the granulometric composition of dust-like materials at the enterprises of the North Caucasus. Grozny Natural Science Bulletin]. №3 (7). Pp. 8-11.

СОДЕЙСТВИЕ ЕСТЕСТВЕННОМУ ПОЛУВЫСЫХАНИЮ НЕФТЕСОДЕРЖАЩЕГО ШЛАМА ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ ВОДЫ

© А. А. Эльмурзаев, Ю. Х. Тарамов, П. С. Цамаева

ГГНТУ имени акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

Уменьшение содержания воды в нефтесодержащем шламе имеет важное значение для его утилизации. Несмотря на кондиционирование и разделение твердой и жидкой фаз, содержание воды в нефтесодержащем шламе обычно превышает 65%. Большое количество этой воды существует в виде эмульгированной и связанной воды, что снижает эффективность удаления воды в процессе естественной полусушки нефтешлама. Чтобы сократить время, необходимое для естественной полусушки, в этом исследовании применялся метод содействия естественному полувывсыханию нефтесодержащего шлама за счет изменения формы воды с применением модифицированного масляного шлама (ММШ).

Влияние и механизм содействия на естественное полувывсыхание нефтешлама изучали с помощью термогравиметрического анализатора (ТГА), сканирующего электронного микроскопа (СЭМ), измерения поверхностного натяжения и микроскопических наблюдений. Результаты показывают, что при температуре окружающей среды выше 10°C масса модифицированного масляного шлама увеличивалась на 8-10%, а время, необходимое для естественной полусушки нефтешлама, сократилось с 15 дней до менее чем 5 дней. Модифицированный масляной шлам может разрушать эмульсию, снижать поверхностное натяжение, преобразовывать эмульсию и связанную воду в нефтесодержащем шламе в свободную воду, а также ускорять скорость миграции, диффузии и естественного испарения воды изнутри маслянистого ила на поверхность и в воздух. Результаты исследований показывают, что изменение формы воды может ускорить высыхание нефтешлама, создавая положительные экономические выгоды в процессе уменьшения и переработки нефтешлама. Результаты исследований показывают, что изменение формы воды может ускорить высыхание нефтешлама, создавая положительные экономические выгоды в процессе уменьшения и переработки нефтешлама.

Ключевые слова: нефтешлам, сушка, эмульгированная вода, утилизация, модифицированный масляной шлам.

Большое количество нефтешламов об-
разуется при эксплуатации, транспортиров-
ке, хранении и переработке сырой нефти
[1]. Многие страны отнесли нефтешламы к
опасным отходам из-за большого количества
опасных компонентов. Некоторые методы
очистки широко изучались и применялись,
включая химическую экстракцию, термиче-
скую десорбцию, микроволновую обработку,
сжигание и микробную деградацию. Однако
маслянистый шлам, который остается после
кондиционирования и разделения твердой и
жидкой фаз, обычно имеет высокое содержа-
ние влаги и низкое содержание масла (напри-

мер, сырая нефть 1,8 мас.%, вода 65,8 мас.%).
Вода в основном существует в виде связанной
воды, эмульгированной воды и небольшого
количества свободной воды [1, 2]. Связанная
вода относится к воде, которая притягивается
к внутренним поверхностям пор и внешним
поверхностям частиц маслянистого шлама
заряженными молекулами. Эмульгированная
вода относится к эмульсии масло-вода, кото-
рая представляет собой систему вода в масле,
масло в воде или дисперсионную систему с
несколькими типами эмульгирования. Сво-
бодная вода относится к воде, которая может
течь свободно [3, 4].

Методы сушки включают лопастную сушку, микроволновую сушку, солнечную сушку и естественную сушку. Лопастная сушка использует горячую воду, пар или теплопроводное масло в качестве источника тепла для непрямого теплообмена. Микроволновая сушка широко используется при физической обработке пищевых продуктов, бумаги, дерева и изделий в других отраслях промышленности. Помимо соображений безопасности, высокая стоимость этих подходов требует значительного энергопотребления. Солнечные осушители могут быть самой простой и наименее дорогой технологией для уменьшения веса ила. Эти сушилки в основном включают тепличные режимы и режимы с псевдооживленным слоем. Однако кинетика солнечной сушки колеблется, так как меняется подача солнечной энергии. По сравнению с лопастной сушкой и микроволновой сушкой естественная сушка на воздухе, аналогичная солнечной сушке, является наиболее экономичным и эффективным методом снижения влажности нефтешлама до полусухого состояния [5, 6].

Методы сушки можно разделить на два типа в зависимости от содержания влаги: полную сушку и полусушку. Полная сушка снижает влажность нефтешлама до 10-15% и менее. Полусушка снижает влажность до 40-50%. Естественная полусушка означает помещение маслянистого шлама в состояние покоя при комнатной температуре. Затем большая часть воды в нефтесодержащем шламе удаляется путем естественной диффузии и испарения [7]. Это снижает содержание воды в нефтешламе до нового уровня 40-50%.

Естественная сушка зависит от многих факторов, в том числе от температуры, ветра, влажности воздуха и толщины укладки нефтешлама [8]. Маслянистому шламу требуется 15 или более дней, чтобы естественным образом высохнуть до полусухого состояния после флокуляции и разделения твердой и жидкой фаз. Особенно важны три фактора:

- использование большого количества хранилищ увеличивает общие затраты предприятия;

- чем дольше время хранения и чем больше требуемый объем хранения, тем больше риск для безопасности и окружающей среды;

- газообразные выбросы производят запах во время производственного процесса.

Эти факторы подчеркивают необходимость сокращения периода сушки. Для решения этих проблем важно исследовать и разрабатывать модифицированные материалы для ускорения естественной сушки нефтешлама [9]. Например, химические реагенты могут сократить время высыхания и гнилостный запах нефтешлама. Модифицированные материалы обычно требуют следующих характеристик: (1) иметь недорогой и широко доступный источник; (2) быть способным поглощать влагу из нефтесодержащего шлама и не реагировать при высоких температурах (т. е. он не может физически адсорбироваться или реагировать с химическими агентами с образованием кристаллической воды); (3) процесс реакции должен выделять тепло и ускорять естественное испарение воды; (4) увеличить массу как можно меньше, чтобы избежать увеличения общего количества нефтешлама, требующего транспортировки.

Несколько исследований ускорили сушку нефтешлама при естественной сушке. Однако исследования не изучали влияние и механизм химических веществ на естественную полусушку, особенно в отношении влияния формы воды на скорость сушки. В этом исследовании мы изучаем, как можно изменить форму воды в нефтесодержащем шламе с помощью химического агента в качестве модифицированного материала для ускорения процесса сушки. Этот процесс способствовал полусухому состоянию нефтешлама за 5 дней. Полуосушающий эффект в нефтесодержащем шламе был оценен с помощью ортогонального эксперимента и были исследованы факторы, влияющие на процесс полусушки. Наконец, в исследовании проанализирован механизм, вовлеченный в процесс сушки.

Порошковый эмульгатор в ММШ, использованный для этого исследования, включал альфа-олефинсульфонат натрия, аминосульфоновую кислоту и додецилбензолсульфонат натрия. Окислитель включал FeCl_3 и $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Неорганический вяжущий материал включал CaO (эффективное содержание >98%) и портландцемент (промышленный уровень). Дру-



Рис. 1. Нефте содержащий шлам

гие реагенты включали CaCl_2 , MgSO_4 , NaSi_4 и MgCl_2 .

Нефте содержащий шлам был собран с нефтяного месторождения Республики Татарстан. Маслянистый шлам имел черный цвет, как показано на рисунке 1. Масличность образца составляла 2-6%, влажность – 68-72%. Масло содержало добавки, такие как полимеры, оставшиеся при флокуляции.

Принципы скрининга модифицированных материалов.

Основная роль заключалась в том, чтобы: (1) реагировать с водой в нефтешламе; (2) превратить эмульгированную воду в свободную воду; (3) преобразовать связанную воду в свободную воду; (4) вызвать экзотермическую реакцию, ускоряющую испарение воды; (5) включить реакцию, позволяющую окислению уменьшить органическое вещество и уменьшить способность поглощать воду; (6) применять другие реагенты для ускорения времени реакции неорганических вяжущих материалов или увеличения водопоглощения.

Исходя из вышеизложенной конструкции, в состав модифицированного материала входили порошкообразный эмульгатор, окислитель, неорганический вяжущий материал и другие реагенты [10, 13]. Для каждого из вышеуказанных 4 типов добавок материалов (реагентов) за один раз тестировали один реагент и сравнивали с контрольным образцом. Материалы,

содержание воды в которых было выше, чем в первоначальной пробе, были исключены из дальнейшего рассмотрения. Типы материалов с добавками, обеспечивающие наименьшее содержание влаги, использовались для тестируемой смеси, используемой в ортогональных экспериментах. Каждый результат данных, представленный в этой статье, отражает среднее значение трех параллельных экспериментов. Сообщается, что стандартная ошибка среднего отражает степень дисперсии.

Первоначальный скрининг.

Каждый реагент добавляли к массе в граммах маслянистого шлама на уровне 10% масс. Затем образец равномерно перемешивали и выдерживали при комнатной температуре. Влажность измеряли через 5 дней. В качестве сырья для предварительного просеивания модифицированных материалов был выбран материал с наименьшим содержанием влаги.

Измерение поверхностного натяжения.

Фильтрат нефтесодержащего шлама собирали и добавляли в ММШ. Поверхностное натяжение ММШ измеряли при комнатной температуре с дистиллированной водой в качестве эталонного материала.

Измерение влажности.

Содержание влаги в образце оценивали путем взвешивания образца нефтяного шлама и последующего нагревания до постоянного веса при температуре 80°C .

Чтобы оценить содержание влаги в маслянистом шламе после добавления химического реагента, мы оценили массу стакана, добавленного ММШ или химического реагента на основе массового процента. Образец высушивали естественным путем при комнатной температуре в течение заданного периода времени t_1 , после чего измеряли массу. После продолжения естественного полусухого образца в течение заданного периода времени t_2 при комнатной температуре массу снова измеряли. Затем образец высушивали при 80°C до достижения постоянной массы.

Термогравиметрический анализ (ТГА).

Примерно 10,0 мг образцов маслянистого шлама помещали в камеру для образцов (синхронный термосинтетический анализатор, модель TGA/SDTA851e). Образец выдерживали при 100°C в течение 10 мин., после чего проводили сушку.

Микроскопический анализ.

Микроскопический анализ маслянистого шлама проводился с использованием микроскопа Motic M150 SERIES. Нефтяной шлам (100-500 мг) помещали на предметное стекло и осторожно накрывали предметным стеклом для наблюдения за наличием воды под микроскопом. Это сравнивали с образцом нефтешлама с добавлением OSM, который исследовали анало-

гичным образом. Существующие формы промывной воды в нефтешламе определяли добавлением OSM к 500,0 мг фильтрата нефтешлама. Маслянистый фильтрат или помещали на предметное стекло, осторожно накрывали предметным стеклом и под микроскопом наблюдали наличие воды. Под микроскопом эмульгированная вода выглядела как непрозрачная капля с внешним кольцом, в то время как свободная вода была относительно однородной и прозрачной.

Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ).

Образцы предварительно высушивали до постоянного веса при 80°C. Небольшое количество порошка образца было прикреплено к медной платформе, а затем образец был напылен золотом, чтобы увеличить проводимость образца, сделав изображение четким и стабильным. Образцы с напылением золота помещали в вакуумную систему сканирующего электронного микроскопа, вакуумировали и сканировали. Во время теста изображения отображались компьютерной системой, а результаты записывались с разрешением 10 мкм и 2 мкм соответственно.

Предварительный отсев модифицированного сырья.

Влияние отдельных вспомогательных материалов на влажность нефтешлама исследо-

Таблица 1.
Предварительный отбор и оценка результатов модифицированных материалов

Тип добавки	Название/Химическая формула	Содержание влаги перед введением	Содержание влаги через 5 дней (%)
порошковый эмульгатор	Альфа-олефинсульфонат натрия	71,06	59,76
	Аминосульфоновая кислота	71,06	58,84
	Додецилбензолсульфонат натрия	71,06	63,21
окислитель	FeCl ₃	71,06	61,44
	Fe ₂ (SO ₄) ₃	71,06	58,31
неорганический вяжущий материал	CaO	71,06	53,23
	портландцемент		52,44
другие реагенты	CaCl ₂	71,06	66,84
	MgSO ₄	71,06	64,49
	NaSiO ₄	71,06	65,90
	MgCl ₂	71,06	63,69
пустой образец	-	71,06	65,08

вали при температуре 10-15°C. Таблица 1 показывает результаты эксперимента.

Определение состава OSM ортогональным экспериментом.

Было проведено несколько экспериментов по приготовлению смеси внутри помещений для оценки четырех типов химических веществ (аминосульфокислота, $Fe_2(SO_4)_3$, портландцемент, $MgCl_2$), перечисленных в таблице 1. Цель состояла в том, чтобы оценить наилучшую комбинацию компонентов ММШ. Ортогональные экспериментальные методы были приняты для получения наилучшего соотношения и снижения экспериментальной прочности. Чтобы контролировать увеличение общего веса, вызванное увеличением количества модифицированных материалов, экспериментально контролировали общее содержание каждого компонента в модифицированных материалах, чтобы оно было менее чем на 10% больше по сравнению с массой образца нефтешлама.

В этом эксперименте для повторного микширования OSM использовались четыре агента и три горизонтальных ортогональных теста. Влажность оценивали через 5 дней после внесения ММШ. Содержание влаги и цена одного реагента были использованы для разработки индекса оценки для четырех обработок: аминосульфокислота (обозначена как А), $Fe_2(SO_4)_3$ (обозначена как Б), портландцемент (обозначен как В), $MgCl_2$ (обозначен как Г), А, Б, В и Г включали только по одному из каждого из химических агентов, перечисленных в таблице 1. Теоретический анализ и проверка были использованы для определения наилучшего соотношения четырех химических реагентов. В таблице 2 показано определение факторов

в ортогональных тестах; А, Б, В и Г были четырьмя процедурами, а 1, 2 и 3 обозначали уровни обработки.

Влияние добавления ММШ до и после

В исходном нефтесодержащем шламе было большое количество воды, а также многократная эмульгированная вода. Рис. 4 показывает состояние воды в сыром нефтешламе (а); вода в нефтешламе после добавления OSM (б); состояние воды в исходном нефтешламе в фильтрате (в); вода в растворе для выщелачивания нефтешлама после добавления OSM (г). Поверхность частиц маслянистого бурового раствора была маслорастворимой (рисунок 2а). После добавления ММШ эмульсия практически разрушалась, и слой масла на поверхности воды исчезал (рисунок 2б). Наблюдалось значительное изменение содержания воды в фильтрате нефтесодержащего шлама после добавления ММШ. Это согласуется с наблюдениями, показанными в рисунке 2в и 2г.

Результат измерения поверхностного натяжения.

Результаты испытаний на поверхностное натяжение показали, что поверхность исходного раствора для выщелачивания нефтесодержащего шлама имела значение поверхностного натяжения 33,89 Н/м. После добавления ММШ поверхностное натяжение на поверхности маслянистого фильтрата шлама составило 43,97 Н/м. Результаты показывают, что присутствие воды в нефтешламе изменилось: гидрофильность увеличилась, а липофильность уменьшилась.

Два механизма заставили ММШ изменить тип воды в нефтесодержащем иле. Во-первых, неорганические вяжущие материалы и другие

Таблица 2.
Ортогональные экспериментальные факторы и уровни комплекса ММШ (%)

Уровень	Фактор			
	Аминосульфоновая кислота (обозначен буквой А)	$Fe_2(SO_4)_3$ (обозначен буквой Б)	портландцемент (обозначен буквой В)	$MgCl_2$ (обозначен буквой Г)
1	0,2	0,2	6	1
2	0,4	0,5	7	1,5
3	0,6	0,7	8	2

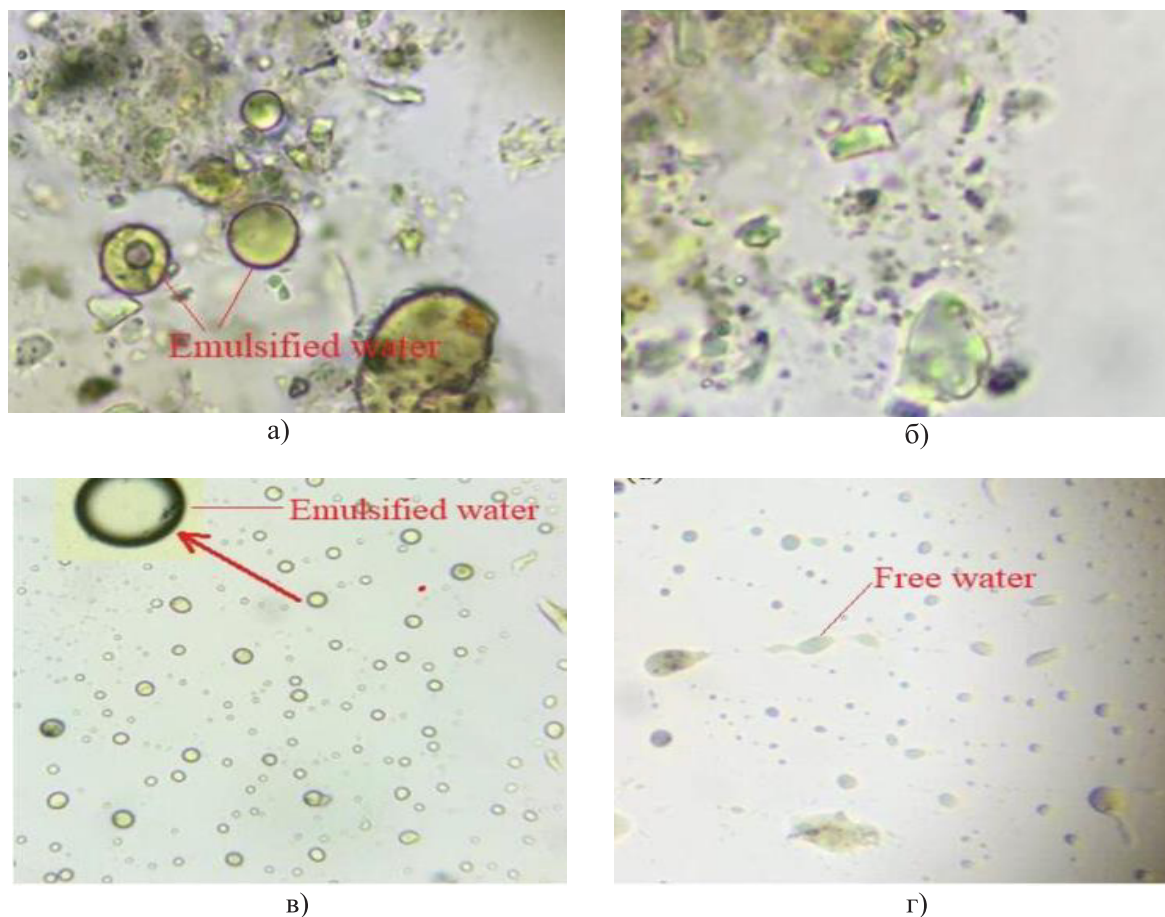


Рис. 2. Состояние воды в нефтешламе

реагенты ММШ содержат много электролитов [11, 12].

Они сжимают и уменьшают диффузию двойных электрических слоев на поверхности масляных шариков. Уменьшение поверхностного заряда масляных шариков увеличивает вероятность того, что топливные шарики будут добавлены к столкновению. Во-вторых, твердое поверхностно-активное вещество в ММШ изменило гидрофильное и безвредное для масла равновесное значение воды в нефтесодержащем шламе. Кроме того, поверхностно-активное вещество адсорбировалось на поверхности влажных глинистых частиц для изменения смачиваемости и разрушения маслянистой эмульсии. Наконец, отрицательно заряженные частицы в ММШ ускоряли электрическую поляриность водного масла и повышали вероятность повреждения эмульсии.

Масса образца нефтешлама уменьшилась на 69% после сушки в течение 10 мин. при

100°C. В свою очередь, скорость испарения также уменьшилась. После достижения температуры 100°C скорость потери массы резко увеличивалась (стадия а-б): по мере уменьшения свободной воды масса уменьшалась. Скорость уменьшалась между б и в по мере испарения оставшейся свободной воды. Вода в виде эмульгированной воды в нефтесодержащем иле была деэмульгирована, а количество свободной воды увеличилось за короткое время, что привело к увеличению скорости потери массы (фаза в-г). По мере уменьшения количества эмульгированной воды тепло передавалось от поверхности шлама внутрь, а связанная вода между внутренними порами частиц нефтешлама переносилась на поверхность через поры. Однако это повлияло на внутреннюю скорость, т.е. скорость переноса была значительно меньше, чем скорость испарения.

За исключением CaCl_2 и NaSiO_4 , при добавлении химических реагентов содержание

влаги стало ниже, чем при отсутствии химических реагентов. Этот факт указывает, что эти агенты положительно повлияли на естественную сушку нефтешлама.

Однако добавлением только одного химического реагента не удалось добиться влажности менее 50% за 5 сут., а добавляемые массы достигли 10% общей массы.

Так как цель исследования состояла в снижении содержания влаги, времени проведения процесса и уменьшения веса, было проведено несколько экспериментов по приготовлению смеси внутри помещений для оценки четырех типов химических веществ (аминосульфокислота, $Fe_2(SO_4)_3$, портландцемент, $MgCl_2$), перечисленных в таблице. Планировалось провести оценку оптимальной комбинации ММШ. Ортогональные экспериментальные методы были приняты для получения наилучшего соотношения и снижения экспериментальной прочности. Чтобы контролировать увеличение общего веса, вызванное увеличением количества модифицированных материалов, экспериментально контролировали общее содержание каждого компонента в модифицированных материалах (менее чем на 10% по сравнению с массой образца нефтешлама).

Таким образом, исследование показало, что смесь ММШ сокращает время естественного полувывсыхания нефтесодержащего шлама и связанные с этим затраты на утилизацию. При температуре окружающей среды выше $10^\circ C$ ММШ значительно сокращает время естественного полувывсыхания нефтешлама с 15 до 5 дней. При этом естественная скорость испарения свободной воды с добавлением ММШ была выше по сравнению со скоростью испарения водонефтяной эмульсии. Добавление ММШ меняет существующую форму воды в нефтесодержащем шламе, вызывает разрушение эмульсии, снижает поверхностное натяжение, уменьшает количество связанной воды и высвобождает свободную воду. Одновременно увеличиваются внутренние микропоры нефтешлама, облегчая миграцию воды из середины на поверхность, с последующим испарением. Это ускоряет естественное полувывсыхание нефтешлама.

В то же время необходимо отметить, что в процессе естественной сушки на процесс влияют и такие факторы, как влажность, давление воздуха, а также толщина и уплотнение отвалов нефтесодержащего шлама и требуют дополнительного изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мохит М. А., Газбан Ф., Омидвар Б. Оптимизация важных параметров извлечения углеводородов из отработанного нефтешлама путем экстракции растворителем с использованием смеси растворителей. Пекин, 2020. С. 407-435.
2. Танатаров М. А. и др. Опыт утилизации нефтешламов ЛПДС «Черкассы» // Промышленные и бытовые отходы. Проблемы и решения: Мат. конф. Ч. 1. Уфа, 1996.
3. Баширов В. В. и др. Техника и технология поэтапного удаления и переработки амбарных шламов. М., 1992.
4. Заин А. М., Шаабан М. Г., Махмуд Х. Влияние материалов-заменителей цемента на гидратацию нефтяного шлама в ОРС. Ключевые инженерные материалы. Уфа, 2008. С. 594-595.
5. Жумаев К. К., Мухамедов А. Математическое описание процесса разделения нефтяных шламов в поле центробежных сил. Бухара, 2007. С. 18-19.
6. Десяткин А. А. Разработка, технология утилизации нефтяных шламов: Автореферат канд. диссерт. Уфа, 2004.
7. Маркаров, М., Нуридинов, А. Переработка нефтяных и газоконденсатных шламов. Методология и результаты. г. Сыктывкар. Экоальянс 2000.
8. Жумаев К. К. Исследование гидродинамики процесса разделения нефтяных шламов в поле центробежных сил. Бухара, 2006.
9. Мазлова Е. А., Мещеряков С. В. Проблемы утилизации нефтешламов и способы их переработки. Москва, 2001.

10. *Страхова Н. А., Цамаева П. С., Эльмурзаев А. А.* Методы улучшения адгезионных свойств битумов к минеральным материалам // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2020. Т. 16. №4 (22). С. 29-35.
11. *Молоканов Ю. К.* Процессы и аппараты нефтегазопереработки. Москва: Химия, 1980. 407 с.
12. *Тайсумов М. А.* Краткий анализ водных и околоводных растений Чеченской Республики / *М. А. Тайсумов, М. У. Умаров, А. М. Абдурзакова, М. А. М. Астамирова* // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2017. №2 (6). С. 34-38.
13. *Александрова Э. А.* Кристаллизация и структурное застывание парафинов в растворителях различной природы / *Э. А. Александрова, Б. Л. Александров, Ж. Т. Хадисова, Х. Х. Ахмадова, Л. Ш. Махмудова* // Химия и технология топлив и масел. 2021. №2 (624). С. 25-29.

FACILITATING THE NATURAL SEMI-DRYING OF OILY SLUDGE BY CHANGING THE FORM OF WATER

© A. A. Elmurzaev, Yu. Kh. Taramov, P.S. Tsamaeva
GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

Reducing the water content of oily sludge is essential for its disposal. Despite conditioning and solid-liquid separation, the water content of oily sludge is typically greater than 65%. A large amount of this water exists in the form of emulsified and bound water, which reduces the efficiency of water removal during the natural semi-drying of oil sludge. In order to reduce the time required for natural semi-drying, this study used a method to promote the natural semi-drying of oily sludge by changing the shape of water using a modified oil sludge.

The influence and mechanism of assistance on the natural semi-drying of oil sludge was studied using a thermogravimetric analyzer (TGA), a scanning electron microscope (SEM), surface tension measurements and microscopic observations. The results show that at an ambient temperature above 10°C, the mass of the modified oil sludge increased by 8-10%, and the time required for the natural semi-drying of the oil sludge decreased from 15 days to less than 5 days. The modified oil sludge can break the emulsion, reduce the surface tension, convert the emulsion and bound water in oily sludge to free water, and accelerate the rate of migration, diffusion and natural evaporation of water from inside the oily sludge to the surface and into the air. The modified oil sludge can break the emulsion, reduce the surface tension, convert the emulsion and bound water in oily sludge to free water, and accelerate the rate of migration, diffusion and natural evaporation of water from inside the oily sludge to the surface and into the air. Research results show that changing the shape of water can accelerate the drying of oil sludge, creating positive economic benefits in the reduction and processing of oil sludge. Research results show that changing the shape of water can accelerate the drying of oil sludge, creating positive economic benefits in the reduction and processing of oil sludge.

Keywords: oil sludge, drying, emulsified water, recycling, modified oil sludge.

REFERENCES

1. Mohit, M. A., Gazban, F. and Omidwar, B. (2020) Optimizatsiya vazhnykh parametrov izvlecheniya uglevodorodov iz otrabotannogo nefteshlama putem ekstraktsii rastvoritelem s ispol'zovaniem smesi rastvoritelei. [Optimization of important parameters for the extraction of hydrocarbons from waste oil sludge by solvent extraction using a mixture of solvents]. Beijing, 407-435 p.
2. Tanatarov, M. A. et al. (1996) Opyt utilizatsii nefteshlamov LPDS "Cherkassy". Promyshlennye i bytovye otkhody. Problemy i resheniya. [Experience in the disposal of oil sludge LPDS "Cherkassy". Industrial and household waste. Problems and solutions]. Mat. conf., Chast' 1. Ufa.
3. Bashirov, V. V. etc. (1992) Tekhnika i tekhnologiya poetapnogo udaleniya i pererabotki ambarnykh shlamov [Technique and technology of step-by-step removal and processing of pit sludge]. Moscow.
4. Zain, A. M., Shaaban, M. G. and Mahmud, H. (2008) Effect of cement substitute materials on oil sludge hydration in OPC. Key engineering materials. Ufa, pp. 594-595.
5. Zhumaev, K. K. and Mukhamedov, A. (2007) Mathematical description of the process of separation of oil sludge in the field of centrifugal forces. Bukhara, pp. 18-19.
6. Desyatkin, A. A. (2004) Razrabotka tekhnologiya utilizatsii neftyanykh shlamov. Avtoreferat kand dissert. [Development of oil sludge utilization technology. Abstract of Ph. D. dissertation], Ufa.
7. Markarov, M. and Nuridinov, A. (2000) Processing of oil and gas condensate sludge. Methodology and results. Ecoalliance 2000, Syktyvkar.
8. Zhumaev, K. K. (2006) Issledovanie gidrodinamiki protsessa razdeleniya neftyanykh shlamov v pole tsentrobezhnykh sil. [Investigation of the hydrodynamics of the process of separation of oil sludge in the field of centrifugal forces]. Bukhara.
9. Mazlova, E. A. and Meshcheryakov, S. V. (2001) Problemy utilizatsii nefteshlamov i sposoby ikh pererabotki. [Problems of utilization of oil sludge and methods of their processing]. Moscow.
10. Strakhova N.A., Tsamaeva P.S., Elmurzaev A.A. Methods for improving the adhesive properties of bitumen to mineral materials. GGNTU Bulletin. Technical science. 2020. V. 16. №4 (22). Pp. 29-35.
11. Molokanov, Yu. K. (1980) Protsessy i apparaty neftegazopererabotki. [Processes and apparatuses of oil and gas processing]. Chemistry. Moscow. 407 p.
12. Taisumov, M.A. Umarov, M. U., Abdurzakova, A. M. and Astamirov, M.A. M. (2017) 'Kratkij analiz vodnyh i okolovodnyh rastenij Chechenskoj Respubliki'. *Groznenskij estestvennonauchnyj bjulleten'*. [Brief analysis of aquatic and semi-aquatic plants of the Chechen Republic. Grozny Natural Science Bulletin]. №2 (6). Pp. 34-38.
13. Alexandrova, E.A. Alexandrova, E.A. Alexandrov, B.L. Khadisova, Zh. T., Akhmadova, H. Kh. and Makhmudova, L. Sh. (2021) 'Kristallizacija i strukturnoe zastyvanie parafinov v rastvoriteljah razlichnoj prirody'. *Himija i tehnologija topliv i masel*. [Crystallization and structural solidification of paraffins in solvents of various nature. Chemistry and technology of fuels and oils]. №2 (624). Pp. 25-29.

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

УДК 625.85.06

DOI: 10.34708/GSTOU.2022.40.59.007

ОЦЕНКА СВОЙСТВ ДОРОЖНЫХ ВЯЖУЩИХ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ МЕТОДОМ ABCD

© ¹Е. В. Лебедев, ²Б. А. Зуров, ³М. М. Высоцкий, ^{3,4}Д. Ю. Небрятенко

¹Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва, Россия

²ООО «ТРАНСКОМ», п. Свен-Транспортная, Россия

³Российский университет транспорта, Москва, Россия

⁴МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

В статье рассматривается возможность применения нового прямого метода определения температуры трещиностойкости битумных вяжущих (ABCD), который позволяет в экспериментах, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации, оценить влияние природно-климатических параметров на комплекс низкотемпературных свойств вяжущих и покрытий на их основе. Метод ABCD уже принят в качестве стандартного метода испытаний низкотемпературных свойств битумных и, в первую очередь, полимерно-битумных вяжущих в России, Европе и Северной Америке. Представленные в данном исследовании результаты количественного определения показателей работоспособности битумных вяжущих различных составов при низких температурах прямым методом полностью подтверждают ранее выдвинутые предположения о необходимости физико-химического обоснования применимости точных методов в дорожной отрасли. Полученные данные показали существенную корреляцию низкотемпературных показателей, вяжущих с составом и структурой используемых бутадиен-стирольных термоэластопластов.

Ключевые слова: метод определения низкотемпературных свойств битумных вяжущих (ABCD), бутадиен-стирольные термоэластопласты (СБС-полимеры), полимерно-битумные вяжущие (ПБВ).

Материалы перерабатывающих отраслей представляют большой интерес для промышленного и гражданского строительства Российской Федерации [1]. Строительные материалы широкого спектра применения разрабатываются в том числе с учетом возможности использования для их производства остаточных продуктов переработки или отходов производственной деятельности смежных отраслей народного хозяйства [2, 3]. Долгое время такими продуктами считались дорожные битумы. Однако существенно изменившиеся за последние 20 лет условия эксплуатации автомобильных дорог и продолжающиеся природно-климати-

ческие трансформации в разных регионах Земли требуют более внимательного отношения к оценке качественных показателей битумных вяжущих.

Образование поверхностных трещин в асфальтобетоне при низких температурах является одним из основных дефектов дорожного покрытия. Понижение температуры может вызвать самопроизвольное растрескивание асфальтобетонного покрытия, что приводит к нарушению бесперебойного движения автотранспорта и необходимости дорогостоящего ремонта. В Российской Федерации в таких природно-климатических зонах находится бо-

лее 90% территорий. Поэтому крайне важно использовать модифицирующие свойства различных химических соединений для направленного регулирования качественных показателей дорожных вяжущих [4].

Это относится и к низкотемпературному растрескиванию асфальтобетонного покрытия, вызываемому термической усадкой при охлаждении до предельных температур, соответствующих природно-климатическим условиям эксплуатации дорог в различных регионах нашей страны. Указанное явление наблюдается тогда, когда термические растягивающие напряжения, возникающие в результате перепада температур внутри асфальтобетона (битумного вяжущего), превышают прочность многокомпонентного материала при данной температуре.

Традиционно под растрескиванием понимают поперечные трещины, возникающие на примерно одинаковых расстояниях под прямым углом к направлению движения [5]. Термическое растрескивание традиционно контролируется путем снижения жесткости битумных вяжущих, предполагая, что вяжущие с большей жесткостью будут растрескиваться при более высоких температурах, чем более мягкие вяжущие [6].

Между тем на современном этапе особую актуальность приобретает внедрение инновационных технологий и строительных материалов, которые увеличивают сроки эксплуатации сооружений, снижают стоимость содержания и ремонта [7].

Одним из наиболее перспективных решений следует считать модификацию традиционных окисленных битумов нефтяных дорожных вязких полимерами класса бутадиен-стирольных термоэластопластов в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52056-2003 «Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол. Технические условия».

При смешении гранул термоэластопласта с нефтяным битумом и повышении температуры многокомпонентной композиции до уровня, превышающего температуру плавления СБС-полимеров на 20-40 °С, происходит поверхностное поглощение полимером мальтенов (масляных фракций и низкомолекуляр-

ных смол) из состава битума. Это приводит к значительному набуханию полимерных макромолекул и частичному разворачиванию глобул во всем объеме битумного вяжущего. За счет этого в 7-9 раз происходит увеличение объема набухшего термоэластопласта относительно первоначальных размеров его сухой полимерной частицы [8, 9]. Дисперсная фаза битума при этом обедняется маслами и низкомолекулярными смолами, что приводит к снижению абсолютного значения температуры хрупкости вяжущего и, в итоге, к повышению вероятности охрупчивания асфальтобетонной системы при относительно высоких температурах [6, 8]. Применение пластификатора позволяет компенсировать потери в составе дисперсной фазы и восстановить групповой химический состав битума, ускорить процесс распределения высокомолекулярных соединений в дисперсионной среде битума, снизить энергозатраты на смешивание компонентов и, в результате, достигнуть требуемого уровня качественных показателей вяжущего, соответствующих условиям эксплуатации дорожных покрытий [10, 11].

Следует, однако, отметить, что решить проблему повышения качества и срока службы дорожных асфальтобетонных покрытий только за счет применения модифицированных битумов невозможно. Эта проблема требует комплексного решения, а именно: обеспечения капитальности и надежности дорожной одежды; обеспечения требуемого водно-теплового режима земляного полотна; применения качественных заполнителей и наполнителей в асфальтобетонных смесях; соблюдения технологических режимов при изготовлении асфальтобетонных смесей и строительстве дорожных покрытий [6].

При этом для суровых природно-климатических условий России наиболее остро встает вопрос контролирования именно эксплуатационных свойств вяжущих и покрытий на их основе, гарантирующий безремонтный срок службы автомобильных дорог в реальных условиях различных регионов страны.

На сегодняшний день не существует прямого метода, который мог бы обоснованно подтвердить, что низкотемпературные свой-

ства можно точно определить на основании испытаний, проведенных при гораздо более высоких температурах. Эксплуатация дорожных покрытий в осенне-зимний период практически на всей территории Российской Федерации ведется при отрицательных температурах, как правило, ниже -20°C . При этом известно, что практически все отраслевые показатели каменных заполнителей и вяжущих материалов определяются при комнатной температуре.

Поэтому в ходе длительных исследований, направленных на изучение битумных вяжущих, профессором кафедры гражданского строительства Университета Огайо доктором наук Ким Санг-Су и его коллегами был разработан метод оценки низкотемпературных свойств дорожных битумов – метод ABCD (Asphalt Binder Cracking Device) [12]. Для дорожной отрасли это принципиально новый метод испытаний, который определяет потенциал низкотемпературного растрескивания битумного вяжущего без предварительного знания реологических свойств, прочности на разрыв, коэффициента теплового расширения и сжатия и т. п. [13].

Если рассматривать поведение дорожного покрытия в реальных условиях эксплуатации, то при понижении температуры происходит усадка и растрескивание асфальтобетонного

покрытия и, прежде всего, битумного вяжущего. При определенных условиях в составе дорожной одежды происходит нарушение монолитности слоя клея между каменными заполнителями. На этом принципе построено испытание по методу ABCD. Образец битумного (или полимерно-битумного) вяжущего выдерживают при постепенном снижении температуры, вызывая аналогичное тепловое сжатие до момента образования поперечной трещины [14].

Далее, на примере использования СБС-полимеров различной молекулярной структуры методом ABCD показано их влияние на низкотемпературные свойства смесей на основе окисленных нефтяных дорожных битумов.

В качестве исследуемого битумного вяжущего использовались промышленно выпускаемые нефтяные окисленные битумы дорожные БНД 60/90 (ГОСТ 22245-90) и БНД 70/100 (ГОСТ 33133-2014), произведенные на одном из нефтеперерабатывающих заводов, расположенных в Приволжском федеральном округе (табл. 1).

С учетом продолжающегося переходного периода, подразумевающего возможность производства на НПЗ битумов нефтяных дорожных вязких по ГОСТ 22245-90 и ГОСТ 33133-2014, для исследований были использо-

Таблица 1

Физико-механические свойства вязких нефтяных дорожных битумов

№ п/п	Наименование показателя	БНД 60/90	БНД 70/100	Методы испытаний
1	Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при 25°C	78	90	ГОСТ 11501/ ГОСТ 33136
2	Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при 0°C	26	34	ГОСТ 11501/ ГОСТ 33136
3	Растяжимость, см, при 25°C ,	74	90	ГОСТ 11505 / ГОСТ 33138
4	Растяжимость, см, при 0°C ,	3,9	5,5	ГОСТ 11505 / ГОСТ 33138
5	Температура размягчения по кольцу и шару, $^{\circ}\text{C}$	51	50	ГОСТ 11506 / ГОСТ 33142
6	Температура хрупкости, $^{\circ}\text{C}$	-16	-18	ГОСТ 11507 / ГОСТ 33143
7	Температура вспышки, $^{\circ}\text{C}$	264	271	ГОСТ 4333 / ГОСТ 33141

ваны репрезентативные образцы из промышленных партий с одного нефтеперерабатывающего завода, паспортизованные по двум национальным стандартам, указанным ранее.

В качестве модифицирующих агентов в ходе исследования были применены бутадиен-стирольные термоэластопласты производства ПАО «Нижекамскнефтехим»: SBS-330L – линейной структуры и SBS-330B – разветвленной структуры. Это новые для российского рынка СБС-полимеры, крупнотоннажное производство которых на мощностях данного завода начато несколько месяцев назад. Поэтому в качестве объектов исследования они представляют собой еще больший интерес в сравнении с традиционным для России дивинил-стирольным термоэластопластом ДСТ 3001, более тридцати лет синтезируемым на АО «Воронежсинтезкаучук». Для модификации вяжущего СБС-полимеры вводились в исходный битум, нагретый до 160 °С, равномерными порциями в количестве 3% масс. Перемешивание в первые 15 минут проводилось высокоскоростным лабораторным диспергатором. Затем в течение 3 часов проходила стадия вызревания при перемешивании тихоходной погружной мешалкой. Свойства конечных композиций оценивались на соответствие требованиям действующего национального стандарта ГОСТ Р 52056-2003. В указанном национальном стандарте хрупкость вяжущего определяется по ГОСТ 11506-73 «Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару», являющим-

ся косвенным методом определения низкотемпературных свойств битумных вяжущих. Для получения более объективной информации в работе был использован прибор ABCD, предназначенный для проведения исследований ООО «Инфратест», г. Москва.

В современной практике прибор ABCD является одним из немногих приборов, осуществляющих определение искомым показателей, вяжущих не косвенным, а прямым методом. Этим он существенно отличается от широко известных приборов по методу «Кольцо и шар», регламентированных ГОСТ 11506-73 и ГОСТ 33142-2014.

Измерительная часть прибора ABCD состоит из металлического кольца, оснащенного датчиками температуры и деформации, которые помещены в силиконовую форму (рисунок 1). После того как нагретое битумное вяжущее заливается в зазор вокруг кольца и застывает, образцы (один контрольный и три опытных) помещаются в криокамеру. Затем в соответствии с требованиями ГОСТ Р 58400.11-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Метод определения температуры растрескивания при помощи устройства ABCD» проводится процесс постепенного равномерного охлаждения внутреннего объема криокамеры вместе с измерительными частями прибора ABCD сначала со скоростью 20 °С/час, а затем со скоростью 40 °С/час до наступления момента трещинообразования (в данном случае не ниже –50 °С).



Рис. 1. Измерительная часть прибора ABCD до и после проведения испытаний

Таблица 2

Низкотемпературные параметры исследуемых вяжущих

Вяжущее	Температура растрескивания ABCD, °C	Температура хрупкости по Фраасу, °C	Скачок деформации, мс	Разрушающее напряжение, МПа
БНД 60/90	-34,31	-16	16,14	2,54
БНД 70/100	-36,41	-18	16,58	2,61
ПБВ 60 на SBS-330L	-44,96	-24	31,27	5,05
ПБВ 60 на SBS-330B	-41,14	-22	20,05	3,48

При понижении температуры битумное вяжущее сжимается сильнее, чем металлическое кольцо из инвара. Инвар – это специальный сплав, состоящий из никеля (Ni, 36%) и железа (Fe, 64%). Он выбран в качестве основного материала для изготовления металлического кольца, так как обладает уникально низким коэффициентом теплового расширения. Коэффициент теплового расширения инвара составляет всего $1,2 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$. Это позволяет изделиям из него сохранять неизменными свои геометрические размеры в самом широком диапазоне температур – от минус 90 до плюс 250°C.

Тепловые деформации при охлаждении приводят к изменению жесткости, прочности и коэффициента теплового сжатия битумного или полимерно-битумного вяжущего. При этом автоматически регистрируются температура и уровень напряжения, при котором нарушается сплошность исследуемых образцов. Эта информация позволяет достоверно определить степень пригодности вяжущего данного типа для использования его в ходе строительства или ремонта дорожных покрытий, обеспечивая долговечность, необходимую для температурных условий последующей эксплуатации, ожидаемых в конкретном регионе Российской Федерации.

Все полученные в ходе проведения результаты автоматически фиксируются, регистрируются и выводятся на экран монитора для визуализации процесса низкотемпературного растрескивания, что позволяет персоналу лаборатории оперативно реагировать на происходящие изменения.

Результаты измерения исследуемых параметров, отражающие низкотемпературные

свойства дорожных битумных вяжущих различных типов, в том числе содержащих линейные и разветвленные СБС-полимеры, представлены в таблице 2.

Образование эластичной пространственной полимерной сетки бутадиен-стирольными термоэластопластами за счет набухания блоков СБС-полимера в мальтеновой фазе битума способствует релаксации растягивающих термических напряжений и приводит к снижению как температуры растрескивания ABCD, так и температуры хрупкости по Фраасу (таблица 2).

Рассеиванием деформаций, возникающих в результате температурных напряжений в объеме вяжущего, благодаря наличию взаимопроникающей эластомерной сетки ПБВ, можно объяснить снижение температуры растрескивания для ПБВ по методу ABCD на 15-30% по сравнению с данными для БНД.

Из графика, представленного на рис. 2, видно, что при понижении температуры ниже -30°C в объеме полимерно-битумного вяжущего происходит накопление уже значительного объема остаточных деформаций, рассеиванию которых в эластичных блоках бутадиен-стирольных термоэластопластов препятствует низкая скорость релаксационных процессов. Поэтому при критической температуре (-41,14°C) наблюдается скачок деформации (20,05 мс) и нарушение непрерывности массива вяжущего (рис. 1).

Таким образом, конструкция устройства ABCD позволяет изучать как кинетику изменения температуры пленки битумного вяжущего, так и определять функцию отклика изменения прочностных свойств вяжущей массы при понижении температуры окружающей среды.

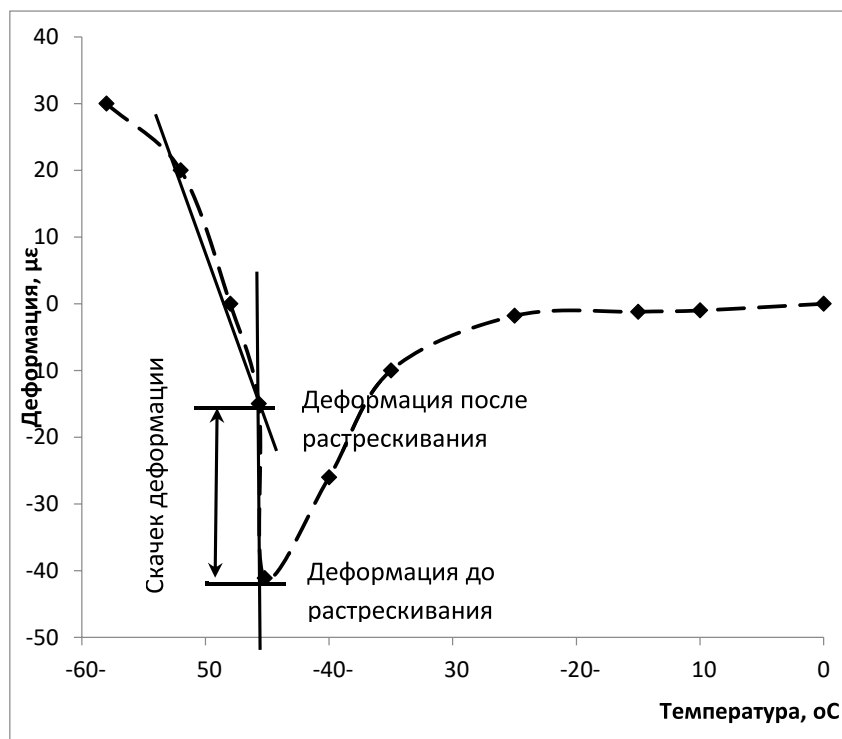


Рис. 2. Температурная зависимость деформации для полимерно-битумного вяжущего ПБВ 60 в случае применения в качестве модификатора SBS-330В

Кроме того, метод ABCD позволяет ранжировать полимерные модификаторы по эффективности их действия на исходный нефтяной битум. Например, в случае испытаний ПБВ на основе линейной марки SBS-330L резкий скачок деформации происходит лишь при температуре $-44,96$ °С. Он объясняется разрушением сплошности пленки вяжущего, причем напряжение ее разрушения составляет $5,05$ МПа, что более чем на 30% выше, чем для радиальной марки SBS-330В ($3,48$ МПа). Последующее снижение температуры не оказывает существенного влияния на деформационные свойства разрушенного образца связующего, и ПБВ ведут себя как условно твердые тела [12].

Это хорошо коррелирует с ранее представленными теоретическими обоснованиями и практическими данными об эффективности линейных бутадиен-стирольных термоэластопластов в качестве полимерных модификаторов свойств битумных вяжущих [15, 16, 18].

Пленки битумного или полимерно-битумного вяжущего после проведения испытания не состаренных образцов могут быть переплавлены для проведения старения по методу RTFOT

(ГОСТ 33140-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения старения под воздействием высокой температуры и воздуха (метод RTFOT)»), моделирующему состояние вяжущего после проведения процесса изготовления смесей с каменными материалами на АБЗ. Далее тем же способом возможна оценка низкотемпературных свойств такого коротко-состаренного вяжущего. Более того, в случае осуществления старения материала пленок по методу PAV (ГОСТ Р 58400.5-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Метод старения под действием давления и температуры (PAV)») возможно оценить и продолжительность безремонтного жизненного цикла исследуемого типа вяжущего, моделируя сопротивляемость вяжущего низкотемпературным разрушениям в ходе долговременной эксплуатации дорожных покрытий. Указанные направления исследований определены являются перспективными на данный момент.

В результате анализа данных, полученных в рамках проведенных исследований, можно

сделать вывод о том, что для оценки низкотемпературных характеристик битумных вяжущих различного состава целесообразно пользоваться методом ABCD как в случае использования модифицированных вяжущих, так и при работе по традиционным технологиям. Наиболее эффективными ожидаемо оказались вяжущие, модифицированные СБС-полимерами производства ПАО «Нижнекамскнефтехим».

Таким образом было показано, что метод ABCD дает достоверные данные о морозостойкости и работоспособности вяжущих в тяжелых природно-климатических условиях Российской Федерации. Это позволит проводить технико-экономическое обоснование применения передовых полимерно-битумных вяжущих при обустройстве автомобильных дорог разного уровня подчиненности [17].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Батаев Д. К. С.* Научные и научно-технические разработки КНИИ РАН / *Д. К. С. Батаев, Х. Н. Мажиев, А. Д. Осмаев, М. Р. Махаев* // Справочное издание к 20-летию Комплексного научно-исследовательского института им. Х. И. Ибрагимова РАН. Грозный, 2019.
2. *Bazhenov Yu. M.* Formation of the properties of high strength building quasi-structure polymer composites / *Yu. M. Bazhenov, D. K. S. Bataev, S. A. Yu. Murtazaev, Kh. N. Mazhiev, M. A. Gaziev, R. U. Goitmirov, P. D. Bataeva* // Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology. Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). 2019. С. 403-407.
3. *Саламанова М. Ш.* Теоретические основы совместимости многокомпонентных наполненных вяжущих систем / *М. Ш. Саламанова, С. А. Ю. Муртазаев, Д. К. С. Батаев, А. Х. Аласханов* // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020. Т. 47. № 1. С. 165-173.
4. *Ахмадова Х. Х.* Основные способы модификации битумов различными добавками / *Х. Х. Ахмадова, Ж. Т. Хадисова, Л. Ш. Махмудова, З. А. Абдулмежидова, М. А. Мусаева* // Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XV. № 3 (17). 2019. С. 42-56.
5. *Торская Е. В.* Моделирование деформации дорожных покрытий движущейся нагрузкой / *Е. В. Торская, Ф. И. Степанов, Н. А. Лушников* // Трение и износ. V. 42. № 2. 2021. С. 96-100. DOI: 0.3103/s1068366621020112.
6. *Гохман Л. М.* Дорожный полимерасфальтобетон. М.: Экон-Информ, 2017. 477 с.
7. *Баснукаев И. Ш.* Устойчивые материалы и инновации в строительстве / *И. Ш. Баснукаев, А. З. Абуханов* // Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XVII. № 3 (25). 2021. С. 39-44.
8. *Гохман Л. М.* Применение качественного полимерно-битумного вяжущего для условий России / *Л. М. Гохман* // Дороги России. № 1. 2018. С. 39-55.
9. *Гуреев А. А.* Дорожные битумы – вчера, сегодня, завтра / *А. А. Гуреев, Н. В. Быстров* // Нефтепереработка и нефтехимия. № 5. 2013. С. 3-6.
10. *Гордеева И. В.* Исследование влияния процесса модификации на групповой состав битума и модификаторов методом Фурье-ИК-спектроскопии / *И. В. Гордеева, Д. А. Мельников, В. Н. Горбатова, Д. С. Резниченко, Ю. А. Наумова* // Тонкие химические технологии. Том 15. № 2. 2020. С. 56-66.
11. *Behnood A.* Morphology, rheology, and physical properties of polymer-modified asphalt binders / *A. Behnood, M. M. Gharehveran* // European Polymer Journal. 2019. – [Электронный ресурс]: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2018.10.049>
12. *Kim S.-S.* «Development of an asphalt binder cracking device», Final Report on 99 IDEA Highway Project. 2007. 40 p.
13. Устройство для растрескивания асфальтового вяжущего ABCD. Руководство по эксплуатации. СПб., 2021. 16 с.
14. *Небратенко Д. Ю.* Метод определения температуры растрескивания битумных вяжущих (ABCD). Методические рекомендации к лабораторным работам / *Д. Ю. Небратенко, Н. А. Лушников, В. Е. Николаевский, В. В. Савицкий*. М.: РУТ (МИИТ), 2022. 28 с.

15. *Kashevskaya E. V. Závislosti vlivu struktury polymerů SBS na vlastnosti polofoukaných a oxidovaných asfaltových pojiv / E. V. Kashevskaya, M. Yu. Boksha, A. M. Isakov, D. Yu. Nebratenko // Zkoušení materiálů a konstrukcí vozovek. ASFALTOVÉ VOZOVKY. 2021. Pp. 2-3.*
16. *Nebratenko D. Yu. Influence of SBS polymers of various structure on the properties of semi-blown bitumen binders / D. Yu. Nebratenko, M. Yu. Boksha, A. M. Isakov. Roads and Bridges – Dorigi i Mosty 21 (2022). Pp. 5-17.*
17. *Гужов С.А. Метод оценки экономической эффективности применения полимерно-битумных вяжущих / С.А. Гужов, А.Б. Санакулов, В.В. Лебедев, Д.Ю. Небратенко // Вестник Брянского технического университета. № 12 (109). 2021. С. 60-68 <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2021-12-60-68>*
18. *Саламанова М. Ш., Исмаилова З. Х., Окуева П. Х., Эскиев М. С. (2017) Анализ методов составления рецептур модифицированных сухих строительных смесей / М. Ш. Саламанова, З. Х. Исмаилова, П. Х. Окуева, М. С. Эскиев // Грозненский естественнонаучный бюллетень. № 4 (8). С. 67-72.*

ASSESSMENT OF THE ROAD BINDERS PROPERTIES AT LOW TEMPERATURES BY THE ABCD METHOD

© ¹E. V. Lebedev, ²B. A. Zurov, ³M. M. Vysotsky, ^{3,4}D. Yu. Nebratenko

¹*Financial University under the Government of Russian Federation, Moscow, Russia*

²*Transcom, Sven-Transportnaya settlement, Russia*

³*Russian University of Transport, Moscow, Russia*

⁴*MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia*

The paper considers the possibility of applying a new method for determining the crack resistance temperature of bituminous binders (ABCD), which allows in experiments, as close as possible to real operating conditions, to assess the influence of natural and climatic parameters on the complex of low-temperature properties of binders and coatings based on them. The ABCD method has already been adopted as a standard method for testing the low-temperature properties of bitumen and polymer-bitumen binders in Europe, North America and Russia. The results presented in this study of quantitative determination of performance indicators (cracking temperature) of bituminous binders of various compositions at low temperatures by the direct method fully confirm the previously proposed assumptions about the need for a physical and chemical justification of the applicability of exact methods in the road industry. This will allow to carry out a feasibility study of the application of advanced binders in the construction of roads of different levels of subordination. The obtained data showed a significant correlation of low-temperature indicators of binders with the composition and structure of butadiene styrene thermoplastic elastomers used.

Keywords: method for determining the low-temperature properties of bituminous binders (ABCD), butadiene styrene thermoplastic elastomers (SBS polymers), polymer-bituminous binders (PmB).

REFERENCES

1. Bataev, D. K. S., Mazhiev, Kh. N., Osmaev, A. D. and Makaev, M. R. (2019) 'Nauchnie i nauchnotekhnicheskie razrabotki KNII RAN' [Scientific and Scientific-Technical Developments of KNII RAS] *Reference Edition for the 20th Anniversary of the Integrated Research Institute named after Kh. Ibrahimov RAS. Grozny.*

2. Bazhenov, Yu. M., Bataev, D.K. S., Murtazaev, S.A. Yu., Mazhiev, Kh. N., Gaziev, M. A., Goitemirov, R. U. and Bataeva, P. D. (2019) 'Formation of the properties of high strength building quasi-structure polymer composites'. In *proceedings: Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology. Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. Pp. 403-407.
3. Salamanova, M. S., Murtazaev, S.A. Yu., Bataev, D.K. S. and Alaskhanov, A. Kh. (2020) 'Theoreticheskie osnovy sovmestimosti mnogokomponentnykh napolnennykh vyagushih system' [Theoretical bases of compatibility of multicomponent filled binder systems]. *Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. 2V. 47. №1. Pp. 165-173.
4. Akhmadova, H. H., Khadisova, J. T., Makhmudova, L. Sh., Abdulmezhidova, Z. A. and Musayeva, M. A (2019) 'Osnovniy sposoby modifikatsii bitumov' [The main ways of modifying bitumens with various additives] *Herald of GSTOU. Technical Sciences*, №3 (17), pp. 42-56.
5. Torskaya, E. V., Stepanov, F. I. and Lushnikov, N. A. (2021) 'Modelirovaniy deformatsii dorognish pokriniy dvishuhey nagruzkoy' [Simulation of pavement deformation by moving load] *Friction and wear*, №2 (42): pp. 96-100. DOI: 0.3103/s1068366621020112
6. Gokhman, L. M. (2017) *Dorogniy polymerasfaltobeton* [Road polymer asphalt concrete]. Econ- Inform. Moscow, 477 p.
7. Basnukaev, I. Sh., Abukhanov, A. Z. and Aliev, S. A. (2021) 'Ustoishivye materialy I innivatsii v promyshlennosti' [Sustainable materials and innovation in construction] *Herald of GSTOU. Technical Sciences*, №3 (25), pp. 39-44.
8. Gokhman, L. M. (2018) 'Primenenie catchestvennogo polymerno-bitumnogo viashushego dla usloviy Rossii' [Application of high-quality polymer-bitumen binder for Russian conditions] *Roads of Russia*. №1. Pp. 39-55.
9. Gureev, A. A. and Bystrov, N. V. (2013) 'Doroshnii bitumy – vshera, segonhia, zantra' [Road bitumens – yesterday, today, tomorrow] *Refining and Petrochemicals*. №5. Pp. 3-6.
10. Gordeeva, I. V., Melnikov, D. A., Gorbatova, V. N., D.S. Reznichenko and Naumova, Yu. A. (2020) 'Issledovanie vlianiya modifikatsii na grunnovoi sostav bituma I modifikatorov metodom Furie-IK-spectroscopii' [Study of the impact of the modification process on the group composition of bitumen and modifiers by Fourier-IR-spectroscopy] *Fine Chemical Technologies*, vol. 15. №2, pp. 56-66.
11. Behnood, A. and Gharehveran, M. M. (2019) Morphology, rheology, and physical properties of polymer-modified asphalt binders. *European Polymer Journal*, available at: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2018.10.049>
12. Kim, S.-S. (2007) «Development of an asphalt binder cracking device», Final Report on 99 IDEA Highway Project. 40 p.
13. (2021) ABCD asphalt binder cracking device. Operating Manual. Brackenheim. 16 p.
14. Nebratenko, D. Yu., Lushnikov, N. A., Nikolaevsky, V. E. and Savitsky, V. V. (2022) Metod opredeleniy temperatury rastreskivaniy bitumnush viagushih (ACBD) [Method for Determining the Cracking Temperature of Bituminous Binders (ACBD)]. Methodological recommendations for laboratory work. RUT (MIIT), Moscow, 28 p.
15. Kashevskaya, E. V., Boksha, M. Yu., Isakov, A. M. and Nebratenko, D. Yu. (2021) Závislosti vlivu struktury polymerů SBS na vlastnosti polofoukaných an oxidovaných asfaltových pojiv. Zkoušení materiálů a konstrukcí vozovek. *ASFALTOVÉ VOZOVKY*, pp. 2-3.
16. Nebratenko, D. Yu., Boksha, M. Yu. and Isakov, A. M. (2022) Influence of SBS polymers of various structure on the properties of semi-blown bitumen binders *Roads and Bridges – Dorogi i Mosty 21*, pp. 5-17.
17. Guzhov, S. A., Sanakulov, A. B., Lebedev, V. V. and Nebratenko, D. Yu. (2021) 'Metod otsenki ekonomicheskoi effektivnosti polumerno-bitumnykh viagushich' [Method to estimate economic efficiency of applying polymer-bitumen binders] *Bulletin of Bryansk state technical university*. №12 (109), pp. 60-68.
18. Salamanova, M. Sh., Ismailova, Z. Kh., Okueva, P. Kh. and Eskiev, M. S. (2017) 'Analiz metodov sostavleniya receptur modifitsirovannykh suhih stroitel'nykh smesey'. *Groznenskiy estestvennonauchnyy byulleten'*. [Analysis of methods for formulating modified dry building mixes. *Grozny Natural Science Bulletin*]. №4 (8). Pp. 67-72.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ФОРМОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФИБРОБЕТОНА

© ^{1,2}М. Р. Нахаев, ²А. Х. Аласханов

¹ЧГУ им. А. А. Кадырова, Грозный, Россия,

²ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

На производство одной тонны цемента расходуется в разных странах от 700 до 1100 кВт·ч энергии. Добыча миллионов тонн сырья и работа цементных заводов сопровождается вредными выбросами, которые наносят большой ущерб окружающей среде. Поэтому разработка новых энерго- и ресурсосберегающих строительных технологий особенно важна. Для экономии цемента в строительстве разработана новая технология. Предлагается метод послойного электростатического нанесения сухих порошковых компонентов бетонной смеси и волокон на формообразующий арматурно-сеточный каркас изделия. Нанесенные слои периодически увлажняют тонкораспыленной водой. Процесс повторяют до получения фибробетона нужной толщины. В новой технологии водоцементное отношение может быть равным теоретической величине для данного состава бетона. Это должно давать экономию цемента без снижения прочности фибробетона. Необходимо учитывать особенности, диктуемые электростатической технологией. Например, в узкие и глубокие каналы электрическое поле почти не проникает. Рассматриваются электрофизические особенности метода. Например, за какое время происходит зарядка частиц сухой бетонной смеси. От чего зависит производительность процесса нанесения покрытия, какова оптимальная скорость воздушного потока из электростатического распылителя и др.

Ключевые слова: фибробетон, электростатический распылитель, сухая бетонная смесь, увлажнение, водоцементное отношение, экономия цемента.

Производство цемента в России в 2015 году достигло 68,5 млн. тонн. Более половины из этого количества цемента производилось по так называемому «мокрому» способу. По удельному потреблению энергии это самый неэкономичный способ [1, 2]. Для наглядности представим затраты энергии в едином эквиваленте – в кВт·часах на одну тонну цемента [3]: а) приготовление сырьевой смеси (дробление, грубый помол, усреднение состава) – 20 кВт·ч; б) обжиг сырьевой смеси (получение клинкера при мокром способе подготовки сырья) – около 1000 кВт·ч; в) помол клинкера в тонкий порошок – 40 кВт·ч. Всего для производства 1 т цемента расходуется примерно 1060 кВт·ч энергии. В некоторых странах этот показатель удалось снизить до 700...800 кВт·ч/т. Добыча миллионов тонн сырья и работа цементных заводов сопровождается вредными выбросами, которые наносят большой ущерб окружающей среде. Поэтому разработ-

ка новых энерго- и ресурсосберегающих строительных технологий особенно важна.

Большой удельный расход бетона часто связан с необходимостью изготовления деталей увеличенного сечения не по соображениям прочности, а в силу технологических причин. Теоретически для твердения основных типов цементов требуется 12...20% воды от массы вяжущего. Однако для повышения удобоукладываемости бетона водоцементное отношение (В/Ц) часто увеличивают до 0,5...0,6 [4]. Это снижает прочность готового бетона, либо, при равной прочности, повышает расход цемента. Если же для экономии цемента снижают величину В/Ц, то возрастающую при этом жесткость бетонной смеси уменьшают введением в состав различных добавок, понижающих жесткость бетона пластификаторов и суперпластификаторов, поверхностно-активных веществ (ПАВ) и др. Укладку жестких смесей и формование изделий проводят с использова-

нием интенсивного уплотнения: вибрирования с пригрузом, двойного вибрирования и т. д. Однако для смесей на основе обычных портландцементов чаще всего применяют В/Ц, равным 0,30...0,35.

В новой технологии для изготовления тонкостенных изделий и сооружений предлагается использовать метод послойного электростатического нанесения сухих порошковых гидрофильных компонентов бетонной смеси и волокон на формообразующий арматурно-сеточный каркас изделия с периодическим увлажнением наносимых слоев тонко распыленной водой, содержащей ПАВ [5,6]. Как видим, в данной технологии вода вносится отдельно, и ее количество может быть сколь угодно близким теоретическому значению. Конечно, в новой технологии надо учитывать особенности конфигурации изделия, диктуемые электростатикой. Например, в узкие и глубокие каналы электрическое поле почти не проникает. Соответственно, там слой бетона будет тоньше.

Вообще практическое применение электростатической технологии в различных производствах известно с середины 20 века. Например, использование оборудования для электростатического нанесения сухих порошков силикатной эмали на металлические заготовки изделий показано в работе А. Петцольда с сотрудниками [7]. Физические основы процесса осаждения заряженных частиц силикатной эмали рассмотрены также в работе [8]. Важно отметить, что по электрофизическим свойствам и по плотности порошки силикатной эмали весьма близки к порошкам бетонной смеси. Принципиальная возможность осаждения цемента и других минеральных частиц на электропроводящие тела под действием сил Кулона доказана и в других отраслях – этот процесс давно и широко используется в электрофильтрах системы газоочистки цементных заводов и тепловых электростанций, работающих на угле и мазуте [9-11, 14]. Большинство видов зольных частиц, улавливаемых электростатическими фильтрами тепловых электростанций, по электрофизическим свойствам, фракционному составу и массе, так же как и порошки силикатных эмалей, близки по свойствам к частицам сухой бетонной смеси. Поэтому многие физические процессы, связанные с движением заряженных минеральных частиц

в электрическом поле в электрофильтрах и в технологии электростатического формирования изделий из фибробетона, подобны.

Первый этап в процессе электростатического нанесения цемента и тонких минеральных частиц на проводящий формообразующий каркас – это зарядка частиц сухой бетонной смеси. Поскольку электростатические силы пропорциональны величине заряда частиц, то желательнее, чтобы сообщение им электрического заряда происходило возможно быстрее. В рабочем пространстве электростатических устройств (распылителей) при напряжении 50-60 кВ создается концентрация ионов, равная примерно $10^{14} \dots 10^{15} \text{ 1/м}^3$, то есть $10^8 \dots 10^9 \text{ 1/см}^3$. Как установлено практикой, в поле высокого напряжения стационарный режим образования ионов в воздухе устанавливается за время менее 0,1 с. Таким образом, зарядка частиц происходит за малые доли секунды. Поэтому производительность процесса нанесения покрытия не лимитируется скоростью электрических явлений, если мощность высоковольтного блока питания достаточна.

Процесс зарядки частиц можно рассматривать для двух предельных случаев: а) для проводящих частиц; б) для частиц из диэлектрического материала. Для рассматриваемой технологии важен второй случай, так как частицы цемента и тонкого песка имеют высокое удельное электрическое сопротивление. Установлено, что область оптимальной электропроводности частиц для их электростатического осаждения имеет широкий интервал – от 10^3 до $10^9 \text{ Ом}\times\text{м}$. У всех компонентов сухой бетонной смеси удельное сопротивление лежит в интервале $10^7 \dots 10^9 \text{ Ом}\times\text{м}$.

Только у растительных волокон, которые могут применяться при строительстве малоэтажного жилья, легко подвергаемого рециклингу, сопротивление значительно ниже. Это сопротивление сильно зависит от относительной влажности воздуха. Удельное сопротивление цемента и других минеральных частиц тоже зависит от влажности воздуха, но в значительно меньшей степени, чем у растительных волокон.

Если удельное электрическое сопротивление частиц превышает $2 \times 10^9 \text{ Ом}\times\text{м}$, условия их осаждения ухудшаются. На элементах формообразующего каркаса частицы сухой бетонной

смеси образуют плотный слой плохо проводящего материала, который накапливает электрические заряды, и тем самым способствует снижению напряжения результирующего поля в рабочем пространстве между распылителем и покрываемой бетонной смесью поверхностью. Это замедляет процесс осаждения новых частиц. Поэтому толщина слоя сухой бетонной смеси ограничивается уменьшающейся напряженностью результирующего поля. Иначе говоря, толщина одного слоя ограничивается проводимостью осажденного слоя. При увлажнении осажденного слоя в поровом пространстве между частицами появляется жидкая среда, обычно с щелочной реакцией. В результате восстанавливается хорошая проводимость осажденного слоя, и процесс осаждения следующих слоев сухой бетонной смеси можно продолжить.

Сила F , действующая на заряженную частицу, определяется по закону Кулона, если размерности брать в системе СИ [12]:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r_{12}^2}, \quad (1)$$

где q_1 и q_2 – величина взаимодействующих зарядов, ϵ_0 – электрическая постоянная (ранее называлась диэлектрической постоянной, в системе СИ она равна $8,854 \times 10^{-12}$ Ф/м); r – расстояние между зарядами. Электрическая постоянная ϵ_0 в формуле (1) устанавливает пропорциональность произведения заряда q и напряженности электрического поля E_0 , установившегося между заземленным арматурно-сеточным каркасом и распылителем:

$$F = qE_0 = n e E_0, \quad (2)$$

где e – элементарный заряд, равный заряду электрона ($1,602 \times 10^{-19}$ Кулона);

n – число зарядов на частице.

При определении электрического заряда форму частиц условно считаем сферической. Число n ионов, захваченных частицей радиусом a , и ее заряд q равны:

$$n = 4\pi\epsilon_0 \frac{3E_0 a^2}{e} \text{ и } q = 4\pi\epsilon_0 (3E_0 a^2). \quad (3)$$

где E_0 – напряженность электрического поля, В/м.

Для диэлектрических частиц расчет заряжения в ионизированном поле должен учи-

тывать также поляризационные заряды. Тогда предельный заряд частицы равен:

$$Q_0 = 4\pi\epsilon_0 (pE_0 a^2), \text{ где } p = 1 + 2 \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2}. \quad (4)$$

где ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость материала частицы.

Чем выше диэлектрические свойства материала частицы, тем более величина p приближается к 1. При высокой электропроводности поверхности частицы величина p стремится к 3,0.

Число электрических зарядов n , которые могут быть захвачены частицей:

$$n = 4\pi\epsilon_0 \left[1 + 2 \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2} \right] \frac{E_0 a^2}{e}. \quad (5)$$

Частицы сухого цементного порошка, тонкого песка и волокна заряжаются, проходя через центральный канал пистолета (распылителя), в котором коаксиально расположен электрод. Между покрываемым объектом и распыляющей насадкой пистолета создается электростатическое поле. Частицы порошка, получившие электрический заряд, перемещаются к заземленному электроду, которым является заземленный арматурно-сеточный каркас. Формообразующая основа изделия или сооружения может быть сделана из металлической сварной или тканой сетки. Сетка с большой ячейкой может быть дублирована с внешней стороны прорезанной мешковиной из джута или других гидрофильных волокон. Перед покрытием бетонной смесью мешковину увлажняют.

На частицы цемента в рассматриваемом процессе действуют три силы: сила тяжести, электростатическая сила, действующая на заряды в электрическом поле, и аэродинамическая, обусловленная действием на частицу воздушного потока, с помощью которого в распылитель подают сухую бетонную смесь. Силу тяжести, действующую на частицу, можно не учитывать, так как частицы цемента размером 50 мкм имеют массу меньше 1 мкг. Даже масса стеклянных волокон и частиц тонкого песка настолько мала, что скорость витания их в воздухе много меньше скорости воздушного потока из распылителя. Тормозящее действие воздуха на движение частиц отмечено ниже.

Существенная особенность движения частиц к покрываемой поверхности связана с

тем, что по выходе их из распыляющего сопла действующая на них электростатическая сила возрастает по гиперболическому закону по мере их приближения к покрываемой поверхности, а аэродинамическая сила убывает, поскольку воздушный поток расширяется. Кроме того, у самой поверхности воздушный поток меняет направление своего движения, он начинает двигаться вдоль покрываемой поверхности, если она сплошная, либо становится вихревым, если встречается с выступами или отверстиями.

При электростатическом осаждении сухой смеси на формообразующую основу из сетки задают режим нанесения порошка. На процесс осаждения влияют: скорость подачи смеси, скорость воздуха из распылителя, расстояние между распылителем и изделием, величина напряжения между электростатическим распылителем и заземленным изделием и др. Компоненты сухой смеси, проходя через канал электростатического распылителя, получают электрический заряд. Правильно подобранное расстояние между распылителем и изделием улучшает осаждение сухой смеси на тыльную сторону изделия. Лицевая сторона при этом покрывается хорошо в любом случае.

Как происходит физически покрытие тыльной стороны сетки частицами бетонной смеси? При оптимальной скорости воздушного потока и напряженности электрического поля значительное количество частиц пролетает через отверстия в сетке. Под оптимальной скоростью воздушного потока здесь понимается такая скорость, которая достаточна для выноса из распылителя нужного количества порошка, но не слишком большая, чтобы не мешать осаждению частиц под действием электрического поля. Ускорение частиц происходит под действием двух сил: аэродинамической силы попутной струи воздуха и силы электрического поля, действующей на заряженную частицу. Затем частица, пролетевшая через отверстие в сетке, полем тормозится и далее ускоряется в обратном направлении, чтобы осесть на сетке с тыльной стороны.

После стекания электрического заряда через сетку осажденный слой порошка удерживается силами Ван-дер-Ваальса, которые не так малы – межмолекулярное взаимодей-

ствие происходит с энергией 10-20 кДж/моль. А затем, при дозированном увлажнении сухой смеси тонкораспыленной водой с поверхностно-активными веществами (ПАВ), к этим силам добавляются силы смачивания и капиллярного эффекта.

Силовые линии поля распределяются таким образом, что они достигают поверхности объекта, и заряженные частицы порошка равномерно осаждаются на каркасе или на ранее уже осажденном и влажном слое бетона. Противодействующая им аэродинамическая сила F_a , когда частица, пролетевшая отверстие в сетке, движется в обратном направлении, чтобы сесть на сетку с обратной стороны. Сила F_a обусловлена вязкостью среды и может быть найдена с помощью закона Стокса [13, 15]:

$$F_a = 6 \pi a \eta v, \quad (6)$$

здесь a – радиус частицы, η – динамическая вязкость воздуха ($0,18 \times 10^{-4}$ Па·с),
 v – скорость движения частиц.

Движение частицы, взвешенной в газе и находящейся в электрическом поле, может быть рассчитано при помощи второго закона механики:

$$m \frac{dv}{dt} = qE_p - 6\pi a \eta v, \quad (7)$$

где m – масса частицы,
 q – заряд частицы,
 E_p – электрическая напряженность поля осаждения.

Интегрирование (7) дает:

$$v = \frac{qE_o}{6\pi a \eta} \left[1 - \exp\left(-\frac{6\pi a \eta}{m}\right) \right]. \quad (8)$$

Для большинства марок цемента размер частиц не превышает 50 мкм. Как показывают расчеты, для таких минеральных частиц, движущихся в воздухе, экспонентой в (8) можно пренебречь. Например, для частицы диаметром 10 мкм в среде с вязкостью $\eta = 0,18 \cdot 10^{-4}$ Па·с (воздух в нормальных условиях) экспонента в (8) приближается к нулю (e^{-3240}). Тогда скорость v равна:

$$v = \frac{qE_o}{6\pi a \eta} = \frac{(4\pi\epsilon_0) \cdot 3E_o a^2 E_p}{6\pi a \eta} = \frac{2\epsilon_0 E_o E_p}{\eta} a, \quad (9)$$

где E_o – напряженность поля в месте заряжения частицы,

E_p – напряженность поля осаждения, то есть напряженность возле осадительного электрода, где частица бетонной смеси разряжается, отдав заряд через каркас земли.

Во многих случаях можно считать $E_0 \approx E_p$. В выражении (9) величина q имеет несколько иное значение, чем в (3):

$$q = 4\pi\varepsilon_0(3E_0a^2), \quad (10)$$

напомним, где E_0 – напряженность электрического поля в той точке, где частица приобретает заряд.

Из (9) следует, что скорость перемещения частиц к электроду есть функция напряженностей E_0 . Тогда скорость частицы есть функция квадрата E_0 , радиуса частицы a и обратно пропорциональна вязкости среды η . Так, для частиц цемента размером 50 мкм установившаяся скорость их перемещения равна 12-13 м/с (в спокойном воздухе). Следовательно, при обычно применяемых расстояниях между распылителем и покрываемой поверхностью время движения частицы не превышает 0,02-0,03 с. С учетом известной скорости несущего воздушного потока это время еще меньше. Расчет сделан для электрического поля напряженностью 60 кВ. Величина вязкости воздушной среды соответствует нормальным температуре и давлению.

Для сообщения всем осаждаемым частицам цемента электрического заряда блок высоковольтного питания должен иметь соответствующую мощность. Высоковольтные блоки питания на современной элементной базе довольно компактны. Кроме того, производительность процесса зависит от площади осаждения, которую захватывают распылители при нанесении порошков смеси. Для увеличения производительности возможно одновременное использование пакета из нескольких электростатических распылителей цемента и

увлажняющих устройств, расположенных на манипуляторе.

Поскольку нанесение сухих компонентов бетона на каркас производится одновременно с периодическим увлажнением нанесенных слоев, то большая толщина слоя не создает препятствия для свободного стока заряда в заземленный каркас. В цементном слое даже с небольшой влажностью образуется щелочной электролит, который обеспечивает достаточную электропроводность бетонного слоя при любой его толщине, что благоприятно для электроосаждения.

Добыча миллионов тонн сырья и топлива для производства цемента, а также работа многих цементных заводов сопровождается вредными выбросами, которые наносят большой ущерб окружающей среде. Поэтому разработка энерго- и ресурсосберегающих новых строительных технологий особенно важна. Для экономии цемента в строительстве предложен метод послойного электростатического нанесения сухих порошковых компонентов бетонной смеси и волокон на формообразующую основу изделия. В новой технологии водоцементное отношение может быть равным теоретической величине. Это должно давать экономию цемента без снижения прочности фибробетона, так как избыточная вода после образования цементного камня оставляет поры и капилляры в бетоне. В технологии электростатического формования изделий из фибробетона необходимо учитывать особенности, диктуемые электростатической технологией. Техническое сходство метода электростатического осаждения сухой смеси бетона на формообразующую основу изделий из фибробетона позволяет во многом использовать теорию и многолетний опыт эксплуатации электрофильтров тепловых электростанций для исследования и развития нового метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Производство цемента // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. № 6. 2015. 293 с.
2. *Высоцкий Е. В.* Оценка энергоэффективности российских цементных производств. Перспективы отрасли: вывод из эксплуатации мощностей в 1990-2014, ввод новых мощностей в 2008-2014 гг. // Доклад на конференции CemEnergy-2014. С. 6-8.
3. *Голиков В. М., Ретин С. В., Сапожников А. И.* Снижение энергозатрат при производстве цемента с применением вибрационных машин // ВЕСТНИК Тувинского государственно-

- го университета. Технические и физико-математические науки. №3. 2016. С. 106-113.
4. *Баженов Ю. М., Комар А. Г.* Технология бетонных и железобетонных изделий. М.: Стройиздат, 1984. 672 с.
 5. *Кокоев М. Н., Федоров В. Т.* Электростатическое формование изделий из армированного бетона // Бетон и железобетон. 1997. №6. С. 17-19.
 6. *Кокоев М., Федоров В.* Электростатический армированный бетон // Строительные материалы. 2000. №6. С. 29-31.
 7. *Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M. Sh., Mintshev M. Sh., Bisultanov R. G.* Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging // Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. Pp. 500-503. <https://www.atlantispress.com/proceedings/isees-19/125914231>
 8. *Faust W. D., Evele H. F.* Ceram Eng. and Sci. Proc. 1981. №3/4. P. 256. [Технология керамики и научные труды. 1981.]
 9. *Lagarias J.* Discharges electrodes and electrostatic precipitators // Journal of the Air Pollution Control Association. 1960. Vol. 10. №4. P. 271-274. [Лагариас Дж. Разрядные электроды и электрофильтры // Журнал ассоциации по контролю за загрязнением воздуха. 1960. Т. 10. №4. С. 271-274].
 10. *Санаев Ю. И.* Обеспыливание газов электрофильтрами. Семибратово: Кондор-Эко, 2009. 163 с.
 11. *German W.* Ueber die Koronastromung in den Elektrofiltern/ + Physikalische Zeitschrift. Bd. 34. S. 661-663. [В. Герман О коронирующем токе утечки в электрофильтрах // Физический журнал. Т. 34. Pp. 661-663.]
 12. *Tanasescu Fl.* Ein neues Teilentladungseichmass zur Eichung von Messkreisen // Archiv fuer Technisches Messen. 1969. Blatt V, 3361. S. 221-224. [Ф. Тэнэсэску. Новый калибратор разрядов частиц для калибровки измерительных цепей // Архив технических измерений. 1969. Лист V, 3361. С. 221-224.]
 13. *Тэнэсэску Ф., Крамарюк Р.* Электростатика в технике. М.: Энергия, 1980. 296 с.
 14. *Батаев Д. К. С., Гойтемиров У., Анкаров Ш. И., Эдилсултанова М. В.* К вопросу разработки полимерных композиционных материалов для накопительных конвейеров с регламентированным диапазоном фрикционных свойств / Д. К. С. Батаев, У. Гойтемиров, Ш. И. Анкаров, М. В. Эдилсултанова // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2018. Т. 3. №6 (14). С. 76-81.
 15. *Муртазаев С. А. Ю., Саламанова М. Ш., Узаева А. А., Бисултанов Р. Г.* Получение мелкозернистых бетонов на щелочных цементах из алюмосиликатных добавок / С. А. Ю. Муртазаев, М. Ш. Саламанова, А. А. Узаева, Р. Г. Бисултанов // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2021. Т. 17. №4 (26). С. 63-72.

PHYSICAL PROCESSES IN ELECTROSTATIC MOLDING OF FIBER-REINFORCED CONCRETE PRODUCTS

© ^{1,2}M. R. Nakhaev, ²A. Kh. Alaskhanov

¹CSU named after A. A. Kadyrov, Grozny, Russia

²GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

The production of cement in different countries is consuming 700-1100 kWh of energy per 1 ton. The extraction of millions of tons of raw materials and the operation of cement plants are accompanied by harmful emissions that cause great harm to the environment. Therefore, the development of energy and resource saving new building technologies is especially important. A new technology has been developed to save cement in construction. A method of layer-by-layer electrostatic deposition of dry powder components of a concrete mixture and fibers on the forming reinforcing-mesh frame of the product is proposed. The applied layers are periodically moistened with water mist. The process is repeated until the desired thickness of fiber-reinforced concrete is obtained. With the new technology, the water-cement ratio can be equal to the theoretical value for a given concrete composition. This should result in cement savings without compromising the strength of the fiber-reinforced concrete. It is necessary to account for the issues associated with the electrostatic technology. For instance, the electric field hardly propagates into narrow and deep channels. The electrophysical features of the method are considered. For example, how long does it take to charge particles of a dry concrete mixture? What determines the productivity of the coating process, what is the optimal air flow rate from an electrostatic spray gun, etc.

Keywords: fiber-reinforced concrete, electrostatic sprayer, dry concrete mix, moistening, water-cement ratio, cement saving.

REFERENCES

1. (2015) ‚Proizvodstvo tsementa‘. *Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii*. [Cement production. Federal Agency for Technical Regulation and Metrology]. №6. 293 p.
2. Vysotsky, E. V. Otsenka energoeffektivnosti rossiiskikh tsementnykh proizvodstv. Perspektivy otrasli: vyvod iz ekspluatatsii moshchnostei v 1990-2014, vvod novykh moshchnostei v 2008-2014 gg. Doklad na konferentsii CemEnergy-2014. [Evaluation of the Russian cement production energy efficiency. Industry prospects: decommissioning of capacities in 1990-2014, commissioning of new capacities in 2008-2014. Report at the CemEnergy-2014 conference], pp. 6-8.
3. Golikov, V. M., Repin, S. V. and Sapozhnikov, A. I. (2016) ‚Reduction of energy consumption in the production of cement using vibration machines‘. *Bulletin of the Tuva State University. Technical and physical and mathematical sciences*. №3. Pp. 106-113.
4. Bazhenov, Yu. M. and Komar, A. G. (1984) *Tekhnologiya betonnykh i zhelezobetonnykh izdelii*. [Technology of concrete and reinforced concrete products]. Stroyizdat. Moscow, 672 p.
5. Kokoev, M. N. and Fedorov, V. T. (1997) ‚Elektrostatcheskoe formovanie izdelii iz armirovannogo betona‘. *Beton i zhelezobeton*. [Electrostatic molding of products from reinforced concrete. Concrete and reinforced concrete]. №6. Pp. 17-19.
6. Kokoev, M. and Fedorov, V. (2004) ‚Elektrostatcheskii armirovannyi beton‘. *Stroitel'nye materialy*. [Electrostatic reinforced concrete. Building materials]. №6. C. 29-31.
7. Murtazayev, S.A. Yu., Salamanova, M. Sh., Mintsayev, M. Sh. and Bisultanov, R. G. (2019) ‚Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging‘. *Proceedings of the International Symposium „Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental*

- Research“ dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov (ISES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. pp. 500-503, available at: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/isees-19/125914231>*
8. Faust, W. D. and Evele H.F. (1981) *Ceram Eng. and Sci. Proc.* №3/4. P. 256. [Tekhnologiya keramiki i nauchnye trudy].
 9. Lagarias, J. (1960) ‚Discharges electrodes and electrostatic precipitators‘. *Journal of the Air Pollution Control Association*, vol. 10, No. 4. p. 271-274. [Razryadnye elektrody i elektrofil‘try. Zhurnal assotsiatsii po kontrolyu za zagryazneniem vozdukha, vol. 10. №4. P. 271-274]
 10. Sanaev, Yu. I. (2009) Obespylivanie gazov elektrofil‘trami [Dedusting of gases by electrostatic precipitators]. Condor-Eco, Semibratovo, 163 p.
 11. German, W. ‚Ueber die Koronastroemung in den Elektrofiltern‘ *Physikalische Zeitschrift*, Bd 34, Pp. 661-663. [O koroniruyushchem toke utechki v elektrofil‘trakh. Fizicheskii zhurnal. T. 34, pp. 661-663.]
 12. Tanasescu, Fl. (1969) Ein neues Teilentladungseichmass zur Eichung von Messkreisen. *Archiv fuer Technisches Messen*, 1969, blatt V, 3361, Pp. 221-224. [Novyi kalibrator razryadov chastits dlya kalibrovki izmeritel‘nykh tsepei. Arkhiv tekhnicheskikh izmerenii, list V, 3361, pp. 221-224.]
 13. Tenesescu, F. and Kramaryuk, R. (1980) *Elektrostatika v tekhnike*. [Electrostatics in engineering]. Energy, Moscow. 296 p.
 14. Bataev, D.K. S., Goitemirov, U., Apkarov, Sh. I. and Edilsultanova, M. V. (2018) ‚K voprosu razrabotki polimernyh kompozitsionnykh materialov dlja nakopitel‘nykh konvejerov s reglamentirovannym diapazonom friktsionnykh svojstv‘. *Groznenskij estestvennonauchnyj bjulleten‘*. [On the issue of developing polymer composite materials for storage conveyors with a regulated range of friction properties. Grozny Natural Science Bulletin]. V. 3. №6 (14). Pp. 76-81.
 15. Murtazaev, S.A. Yu., Salamanova, M. Sh., Uzaeva, A. A. and Bisultanov, R. G. (2021) ‚Poluchenie melkozernistykh betonov na shhelochnykh cementah iz aljumosilikatnykh dobavok‘. *Vestnik GGNTU. Tehnicheskie nauki*. [Obtaining fine-grained concretes on alkaline cements from aluminosilicate additives. Herald of GSTOU. Technical sciences]. V. 17. №4 (26). Pp. 63-72.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ НА БЕСКЛИНКЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ ЩЕЛОЧНОЙ АКТИВАЦИИ

© ^{1,2}С.-А. Ю. Муртазаев, ^{1,2}М. Ш. Саламанова

¹ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

²КНИИ РАН им. Х.И. Ибрагимова, Грозный, Россия

Разработка рецептур вяжущих связок щелочной активации на основе отходов цементной промышленности и тонкодисперсных порошков алюмосиликатной природы позволит получать новые эффективные и качественные продукты. Но в предлагаемых новых строительных композитах при неточностях проектирования свойственно появление высолов в процессе эксплуатации. Разработана специальная методика выявления высолообразований на образцах вяжущего материала «аспирационная пыль + клинкерная пыль 15% + барханный песок + щелочной раствор». Результаты исследований показали, что на образцах бетона с использованием в вяжущих связках минерального порошка из барханного песка в дозировке 20% обнаружено присутствие белых высолов, причина которым повышенное содержание щелочных оксидов в барханных песках, способствующих появлению КОН и NaOH.

Исследовалась стойкость цементного камня на бесклинкерных вяжущих щелочной активации против агрессивных реагентов. Получены рецептуры бесклинкерного вяжущего щелочной активации с коэффициентом кислотостойкости 90,2-95,4%, свидетельствующем о высоком сопротивлении действию кислот. Результаты рентгенофазового анализа свидетельствуют, что повышение прочности и стойкости против агрессивных кислых сред вызвано синтезируемыми гидратными новообразованиями с характерным цеолитовым происхождением. Полученные композиции можно охарактеризовать кислотостойкими и рекомендовать для производства строительных композитов, работающих в кислых средах, но важно учитывать и слабую щелочестойкость.

Ключевые слова: бесклинкерные вяжущие, высолы, кислотостойкость, аспирационная пыль, щелочной раствор, едкий натр, жидкое стекло, активатор, метасиликат натрия.

В условиях дефицита разработанного природного ресурса, постоянного удорожания энергоносителей, усиления антропогенного воздействия на экологическую среду особое внимание уделяется разработке менее ресурсо- и энергоемких технологий получения строительных композитов [1-5]. Разработка бесклинкерной технологии получения вяжущих щелочной активации с использованием некондиционного и вторичного сырья позволит в определенной мере решить проблемы экологического характера, а специфические особенности этой продукции, характеризующиеся высокой коррозионной стойкостью, морозостойкостью, низкой экзотермией, прочностью на сжатие до 100 Мпа, подтверждают ее пригодность для производства бетонных и железобетонных изделий и конструкций.

Исследованиями [6-10] доказана высокая коррозионная стойкость шлакощелочных бетонов против магниальной и сульфатной агрессии, и в слабоминерализованных средах с гидрокарбонатной жесткостью. В работе [11] получены низкоэкзотермичные шлакощелочные бетоны, с малым тепловыделением, что позволит использовать данные разработки при монолитном бетонировании, и в частности, при строительстве массивных элементов зданий и сооружений. Данные [12] подтверждают эффективность использования шлакощелочных бетонов при отрицательных температурах, что объясняется низкой температурой замерзания формовочной смеси. Установлена высокая прочность шлакощелочных цементов и возможность конденсационно-кристаллизационного твердения, что обусловлено катионным

обменом между солями щелочных металлов типа R_2CO_3 и оксидом кальция гранулированного шлака, в результате чего образуются карбонат кальция, растворы едкого натра и калия.

Но в предлагаемых новых строительных композитах при неточностях проектирования свойственна характерная особенность – это появление высолов в процессе эксплуатации. Известно, что тепловые воздействия на бетон существенно снижают риск появления белого налета, но при твердении в естественных условиях высолообразование имеет место [13, 14, 25].

Для обнаружения этого эстетически неприятного факта на поверхности бетонных композитов на основе бесклинкерных вяжущих щелочной активации был проведен эксперимент по следующей методике. В первую очередь приготавливалась вяжущая связка, состоящая из порошкообразных и жидких компонентов, но в отличие от композитов на жидком стекле, минеральные порошки техногенного происхождения обладали достаточно высокой реакционной способностью. Далее изготавливались образцы призмы размером $100 \times 100 \times 400$ мм с использованием вяжущей связки «аспирационная пыль + клинкерная пыль 15% + барханный песок + Na_2SiO_3 + NaOH», в которых минеральный порошок барханного песка, полученный 30 минутным помолотом в вибрационной шаровой мельнице ВМ-20, до удельной поверхности $S_{уд} 670 \text{ м}^2/\text{кг}$, добавляли в дозировке 10 и 20%. Щелочной затворитель использовался в обоих случаях смешанный (80:20%) из метасиликата натрия Na_2SiO_3 плотностью $1420 \text{ кг}/\text{м}^3$ и силикатным модулем 2,8 и едкого натра (20%) плотностью $1250 \text{ кг}/\text{м}^3$. Отношение щелочной раствор / реакционный компонент изменялось в зависимости от расхода минерального порошка в пределах 0,68-0,70. Реакционный компонент – аспирационная пыль электрофильтров в дозировке 65-75%. Крупный заполнитель из щебня Серноводского месторождения фракции 5-20 мм, мелкий заполнитель из кварцевого песка Червленского месторождения.

Образцы твердели в воздушно-сухих условиях в течение 28 суток, после чего их помещали в сосуд с водой в вертикальном положении,

уровень воды только на 4-5 см омывала образцы, остальная часть образцов подвергалась обдуванию воздухом $t = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ежедневно в течение 3-4 часов на протяжении 7 дней. Далее открытая часть образцов визуальнo осматривалась на наличие высолообразований в течение 6 месяцев. Бетонные призмы из исследуемых составов продемонстрированы на рисунке 1, на образце с минеральным порошком из барханного песка в дозировке 20% обнаружены высолы в небольшом количестве.

Причина появления белого налета кроется именно в минеральном порошке из барханного песка. Изначально выбор именно этого порошка в этом эксперименте был обоснован химическим составом:

– барханные пески, %: $MgO = 2,41$; $Al_2O_3 = 7,81$; $SiO_2 = 59,54$; $K_2O = 1,44$; $CaO = 17,52$; $Fe_2O_3 = 2,60$; $Na_2O = 1,35$; $SO_3 = 0,21$; ппп = 7,12.

Необходимо было проследить, как повышенное содержание щелочных оксидов $K_2O = 1,44\%$ и $Na_2O = 1,35\%$ в дальнейшем отразится на процессе высолообразования. Значит 20% введение этой добавки способствовало появлению KOH и NaOH, что является следствием того, что щелочные оксиды находятся не в связанном состоянии, в структурной алюмокремнекислородной цепочке катионы K^+ и Na^+ химически не зафиксированы в структуре, из-за переизбытка. Это и приводит к свободному движению и возникновению щелочей KOH и NaOH. Ряд исследований [15-20] подтвердил, при наличии катионов щелочных металлов Na и K в несвязанном виде они не инкорпорируются в структуру, а дислоцируются на поверхностном слое бетона. И во избежание негативного последствия высолов необходимо связать свободные щелочные оксиды в стабильные гидратные соединения, оптимизируя рецептуры использованием дополнительных источников алюмосиликатной природы.

Применение бетонов на бесклинкерных вяжущих щелочной активации на промышленном уровне приводит к возникновению вопросов, связанных с долговечностью композитов в различных условиях: естественных, повышенной влажности, щелочных и кислых. Ранее были разработаны способ получения кислотоупорного вяжущего и вяжущее вещество на

основе высокоактивного метакаолина [21-24], позволяющие за счет уникальных свойств бесклнкерных композитов повышать эффективность получения кислотоупорных композитов, стимулируя исследования для полноценного практического внедрения.

Исследование поведения вяжущих щелочной активации в агрессивных средах проводили согласно методике [16, 17, 26], для этого готовили образцы – балочки размером 20x20x100мм, которые после распалубки помещались в сушильный шкаф при температуре 50°C на 24 часа и через 26 суток нормально-влажностного твердения часть из них была полностью погружена в разные среды: вода, раствор 3% серной кислоты и 3% едкого натра.

На протяжении всего периода исследования образцы визуальнo обследовались, и на основании этого делались выводы. При достижении 6 месяцев и 1 года образцы балочки испытывали на предел прочности, на сжатие и вычисляли коэффициент стойкости с точностью 0,01.

Исследования стойкости цементного щелочного камня действию агрессивных сред проводили на образцах из следующих компонентов: аспирационная и клинкерная пыли электрофильтров вращающейся печи, окремненный мергель, вулканический туф, раствор гидроксида натрия и жидкого стекла натриевого с силикатным модулем 2,8 и плотностью 1,42 г/см³, ускоритель гидролиза и образования геля кремниевой кислоты – кремнефтористый натрий Na₂SiF₆ (ТУ 113-08-587-86), кремнийорганическая жидкость – метилсиликонат натрия (ГКЖ-11) и кварцевый песок Вольского карьера. Оптимальная дозировка всех компонентов вяжущей системы была определена лабораторными испытаниями и представлена в таблице 1.

Необходимо отметить, что исследуемые композиты на вяжущих щелочной активации можно считать достаточно кислотостойкими, на протяжении 1 года ни визуальных изменений, ни существенных потерь в прочности не зафиксировано (рисунок 2 а, б). Но если рас-

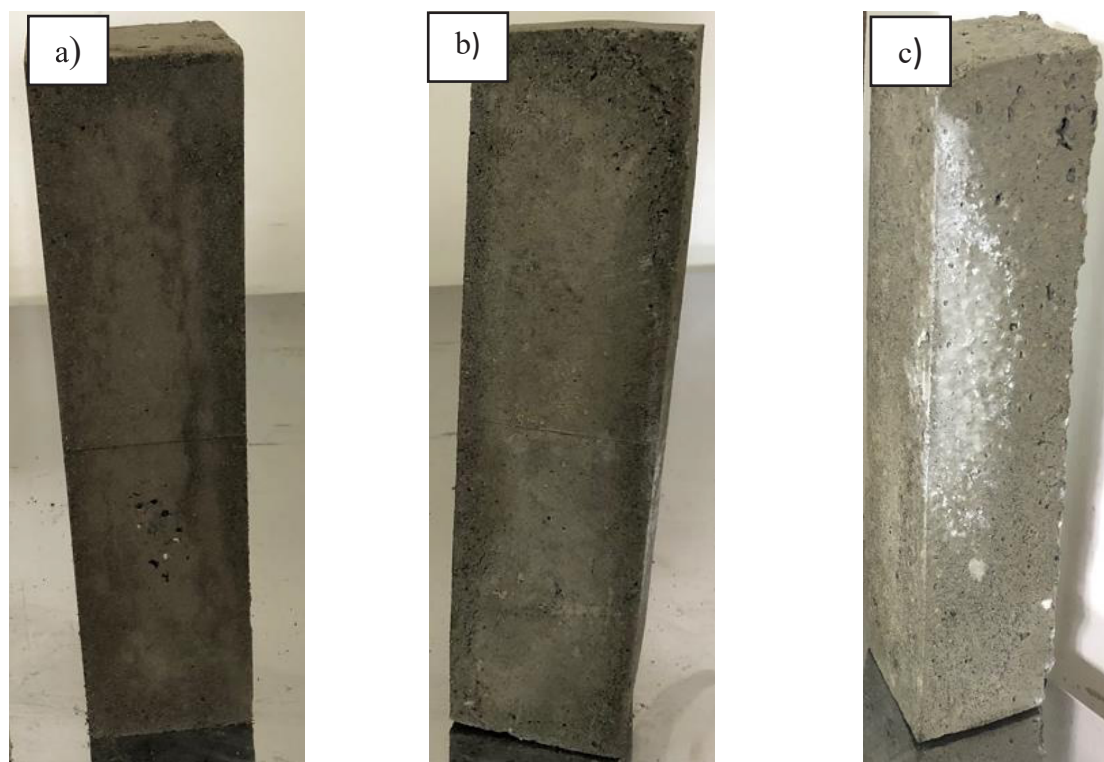


Рис. 1. Бетонные призмы на вяжущих связках «аспирационная пыль + клинкерная пыль 15% + барханный песок + Na₂SiO₃ + NaOH»; а) бездобавочный; б) 10% барханный песок; в) 20% барханный песок

Таблица 1.

Рецептуры и свойства вяжущих щелочной активации

№ пп	Компоненты	Состав, масс. %	Предел прочности на сжатие, МПа	Кислотостойкость в 3% растворе H ₂ SO ₄ , %	Щелочестойкость в 3% растворе NaOH, %
1.	Аспирационная пыль Клинкерная пыль Мергель Na ₂ SiO ₃ NaOH Na ₂ SiF ₆ .	31,0 31,0 21,4 11 0,6 5	60,7	90,2	-
2.	Аспирационная пыль Клинкерная пыль Вулканический туф Na ₂ SiO ₃ NaOH Na ₂ SiF ₆ .	31,0 31,0 21,4 11 0,6 5	62,4	92,3	-
3.	Аспирационная пыль Клинкерная пыль Мергель Na ₂ SiO ₃ NaOH Na ₂ SiF ₆ ГКЖ-11	35,6 25,6 21,4 11 0,6 5 0,8	63,4	95,1	-
4.	Аспирационная пыль Клинкерная пыль Вулканический туф Na ₂ SiO ₃ NaOH Na ₂ SiF ₆ ГКЖ-11	35,6 25,6 21,4 11 0,6 5 0,8	66,5	95,4	-

смазывать их отношение к действию щелочей, то следует заметить, что через 60 суток образцы частично покрылись мелкими трещинами.

Полученные результаты подтверждают высокое сопротивление действию кислот, коэффициент кислотостойкости 90,2-92,3%, а при использовании в рецептуре вяжущей щелочной связки метилсиликоната натрия кислотостойкость увеличилась на 4,5-5,0%. Минеральный порошок из вулканического туфа зарекомендовал себя лучше окремненного мергеля, и это благодаря повышенному содержанию алюмосиликатов в химическом составе Al₂O₃ = 13,67%; SiO₂ = 74,29%.

Аспирационная пыль содержит в своем составе определенную долю слабообожженных глинистых минералов, продукта термообработки каолинита Al₂O₃ • 2SiO₂ • 2H₂O в

виде аморфизированной формы каолинитового ангидрида Al₂O₃ • 2SiO₂, алюмокремнекислородная цепочка Si-O-Al-O-Si разрушается под действием щелочной среды, в результате сложных процессов геополимеризации образуется трехмерный полимерный каркас (алюмосиликатный гидрогель) [14, 27]. Образующие гидратные новообразования отличаются характерным алюмосиликатным происхождением, что подтверждается результатами рентгенофазового анализа (рисунок 3, таблица 2), присутствие которых и является результатом повышения прочности и стойкости против агрессивных кислых сред.

Щелочные катионы натрия входят в состав каркаса и компенсируют отрицательный заряд, создаваемый при выстраивании тетраэдров AlO₄ между кремнекислородными тетраэдра-

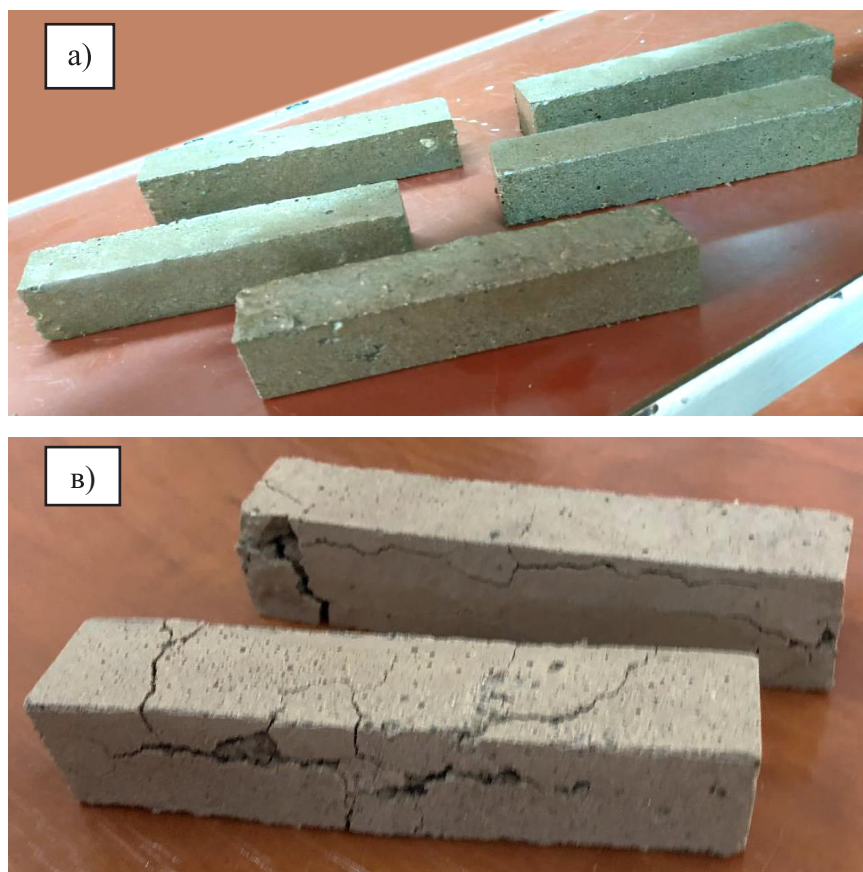


Рис. 2. Образцы бесклнкерных вяжущих щелочной активации после испытаний: а) на кислотостойкость; в) на щелочестойкость

ми, а алюминий создает дефицит положительного заряда, который компенсируется вхождением в структуру каркаса щелочных катионов. Таким образом, катионы натрия находятся заземленными в прочной связи алюмосиликатного каркаса, способствуя синтезу водостойкого и кислотоупорного материала.

В представленной рецептуре кислотостойкого вяжущего, за счет присутствия в его составе реакционно активных компонентов, оптимизированы процессы формирования структуры и прочности в проектируемом материале и, соответственно, тем самым повышены физико-механические и эксплуатационные ха-

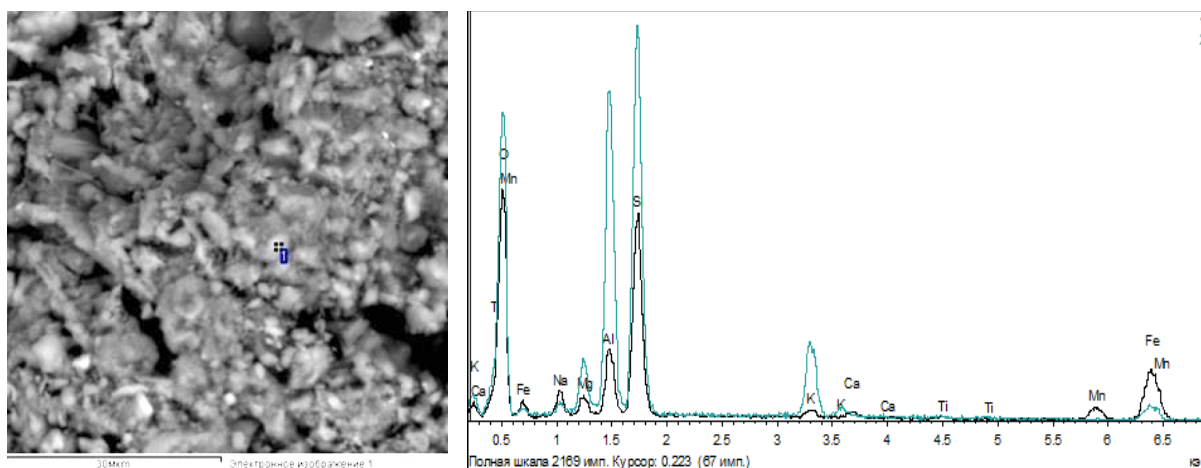


Рис. 3. Гидраты алюмосиликатов кальция основной массы

Таблица 2.

Состав основной массы, в вес. % (место анализа на рисунке 3)

Спектр	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	Итого
1	2.55	1.20	32.98	49.97	7.44	0.25	1.00	1.00	1.45	97.80

рактеристики. Таким образом, использование указанного кислотостойкого вяжущего щелочной активации на основе высокоактивных минеральных компонентов позволяет повысить эффективность получения кислотостойких материалов.

Полученные композиции можно охарактеризовать кислотостойкими и рекомендовать для производства строительных композитов, работающих в кислых средах, но важно учитывать и слабую щелочестойкость. Разработан-

ная технология получения щелочного вяжущего способствует повышению эффективности бесклинкерных строительных композитов путем снижения себестоимости, улучшения физико-механических свойств конечного продукта, а также способствует расширению сырьевой базы бесклинкерной технологии за счет использования активированных щелочным раствором отходов цементной промышленности, не требующих тепловой обработки и длительного измельчения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lopez F.J., Sugita S., Tagaya M., Kobayashi T. Metakaolin-Based Geopolymers for Targeted Adsorbents to Heavy Metal Ion Separation // Journal of Materials Science and Chemical Engineering. 2014. №2. Pp. 16-27.
2. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М. Ш., Нахаев М. П. Возможные пути альтернативного решения проблем в цементной индустрии // Строительные материалы. 2020. № 1-2. С. 73-77. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77>
3. Chen L., Wang Z., Wang Y. and Feng J. Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin- Based Geopolymer // Materials. 2016. Vol. 9. Pp. 767.
4. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М. Ш., Сайдумов М. С., Исмаилова З. Х. Влияние активных центров поверхности на реакционную способность минеральных добавок // Современная наука и инновации. 2017. №2 (18). С. 168-175.
5. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М. Ш. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // Приволжский научный журнал. 2018. №2 (Т. 46). С. 65-70.
6. Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M. Sh., Alashanov A., Ismailova Z. Features of Production of Fine Concretes Based on Clinkerless Binders of Alkaline Mixing // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 23-27 September 2019. Belgorod. 2019. Pp. 385-388. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_93
7. Zhang Z., Provis J.L., Zou J., Reid A., Wang H. Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolymer manufacture // Cement and Concrete Research. 2016. Pp. 163-173.
8. Рахимова Н. П. Состояние и перспективные направления развития исследований и производства композиционных шлакощелочных вяжущих, растворов и бетонов // Строительные материалы. 2008. №9. С. 77-80.
9. Hardjito D., Wallah S., Sumajouw D., Rangan B. On the development of fly ash-based geopolymer concrete // ACJ Materials Journal. 2004. Vol. 101. Pp. 467-472.
10. Davidovitz J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin: Institute Geopolymer. 2008. 592 p.

11. Корнеев В. И., Данилов В. В. Растворимое и жидкое стекло. СПб.: Стройиздат, 1996. 216 с.
12. Fadhil, Nuruddin M., Demie S., Fareed, Ahmed M., Nasir, Shafiq. Effect of Superplasticizer and NaOH molarity on workability, compressive strength and Microstructure Properties of Self-Compacting Geopolymer Concrete // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2011. № 75. Pp. 908-914.
13. Alex T.C., Nath S.K., Kumar S., Kalinkin A.M., Gurevich B.I., Kalinkina E.V., Tyukavkina V.V. Utilization of zinc slag through geopolymerization: influence of milling atmosphere // International Journal of Mineral Processing. 2013. Vol. 216. Pp. 102-107.
14. Villa C., Pecina E.T., Torres R., Gomez L. Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite // Construction and Building Materials. 2010. Vol. 24. Pp. 2084-2090.
15. Рахимова Н. Р., Рахимов Р. З. Композиционные шлакощелочные вяжущие с минеральными добавками различного типа активности // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2013. № 16. С. 204-216.
16. Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M.Sh., Mintsayev M.Sh., Bisultanov R. G. Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging // Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. Pp. 500-503. <https://www.atlantispress.com/proceedings/isees-19/125914231>
17. Bataev D. K-S., Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M.Sh., Viskhanov S.S. Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders // Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. Pp. 457-460. <https://www.atlantispress.com/proceedings/isees-19/125914222>
18. Рахимов М. М., Хабибуллина Н. Р., Рахимов Р. З. Механизм отверждения боратных солевых растворов шлакощелочными вяжущими // Цемент и его применение. 2016. № 3. С. 96-99.
19. Dombrowski K. The Influence of Calcium Content on the Structure and Thermal Performance of Fly Ash Based Geopolymers // Journal of Materials Science. Vol. 42. № 9. 2007. Pp. 3033-3043.
20. Pawlasova S., Skvara F. High-Temperature Properties of Geopolymer Materials // Alkali Activated Materials. 2008. Pp. 523-525.
21. Khater H.M. Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT // Advances in Nano Research. 2015. Vol. 3. № 4. Pp. 225-242.
22. Khater H. M., El Nagar A. M., Ezzat M. Optimization of Alkali Activated Grog / Ceramic Wastes Geopolymer Bricks // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2016. Vol. 5. Issue 1. Pp. 37-46.
23. Nagajothi S., Elavenil S. Strength assessment of geopolymer concrete using M-sand // Int. J. Chem. Sci. 2016. № 14 (Vol. 1). Pp. 115-126.
24. Саламанова М. Ш., Нахаев М. Р., Исмаилова З. Х. Закономерности протекания процессов формирования структуры и прочности бесклинкерного вяжущего щелочной активации // Международный научно-исследовательский журнал «Строительные материалы и изделия». 2020. Т. 3. № 1. С. 21-29. <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2020-3-1-21-29>
25. Тарамов Ю. Х., Цамаева П. С., Эльмурзаев А. А. Влияние состава битума на эксплуатационные свойства / Ю. Х. Тарамов, П. С. Цамаева, А. А. Эльмурзаев // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2022. Т. 18. № 1 (27). С. 54-62.
26. Батаев Д. К. С. К вопросу разработки полимерных композиционных материалов для накопительных конвейеров с регламентированным диапазоном фрикционных свойств. / Д. К. С. Батаев, У. Гойтемиров, Ш. И. Анкаров, М. В. Эдилсултанова // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2018. Т. 3. № 6 (14). С. 76-81.
27. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А., Мажиев Х. Н. Численное исследование влияния строения грунтовой толщи на спектральный состав колебаний на поверхности при интенсивных нагрузках // Геотехнические проблемы строительства на просадочных грунтах в сейсмических районах. Труды III-го Центрально-Азиатского геотехнического симпозиума. 2005. С. 269-271.

STUDY OF THE CEMENT STONE RESISTANCE ON CLINKER-FREE BINDERS OF ALKALINE ACTIVATION

© ^{1,2}S.-A. Yu. Murtazaev, ^{1,2}M. Sh. Salamanova

¹GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

²Kh. Ibragimov Complex Institute of the RAS, Grozny, Russia

The development of formulations for binders of alkaline activation based on waste from the cement industry and fine powders of aluminosilicate nature will make it possible to obtain new effective and high-quality products. But in the proposed new building composites, with design inaccuracies, the appearance of efflorescence during operation is typical. A special technique for detecting efflorescence on samples of binder material "aspiration dust + clinker dust 15% + dune sand + alkaline solution" has been developed. The research results showed that the presence of white efflorescences was found on concrete samples using mineral powder from dune sand in binders at a dosage of 20%, the reason for which is an increased content of alkali oxides in dune sands, which contribute to the appearance of KOH and NaOH.

The resistance of cement stone on alkaline activation clinker-free binders against aggressive reagents was studied. The formulations of a clinker-free binder of alkaline activation with an acid resistance coefficient of 90.2-95.4%, indicating a high resistance to acids, have been obtained. The results of X-ray phase analysis indicate that the increase in strength and resistance to aggressive acidic environments is caused by synthesized hydrate formations with a characteristic zeolite origin. The resulting compositions can be characterized as acid-resistant and recommended for the production of building composites operating in acidic environments, but it is also important to take into account weak alkali resistance.

Keywords: clinker-free binders, efflorescence, acid resistance, aspiration dust, alkaline solution, caustic soda, liquid glass, activator, sodium metasilicate

REFERENCES

1. Lopez, F. J., Sugita, S., Tagaya, M. and Kobayashi, T. (2014) Metakaolin-Based Geopolymers for Targeted Adsorbents to Heavy Metal Ion Separation. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. №2. Pp. 16-27.
2. Murtazaev, S.A. Yu., Salamanov, a M. Sh. and Nakhaev, M. R. (2020) 'Vozmozhnye puti al'ternativnogo resheniya problem v tsementnoi industrii'. *Stroitel'nye materialy*. [Possible ways of alternative solutions to problems in the cement industry. *Construction materials*]. №1-2. Pp. 73-77. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77>
3. Chen, L., Wang, Z., Wang, Y. and Feng, J. (2016) Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin-Based Geopolymer. *Materials*. Vol. 9. Pp. 767.
4. Murtazaev, S.A. Yu., Salamanova, M. Sh., Saidumov, M. S. and Ismailova, Z. Kh. (2017) 'Vliyaniye aktivnykh tsentrov poverkhnosti na reaktsionnuyu sposobnost' mineral'nykh dobavok'. *Nauchnyi zhurnal «Sovremennaya nauka i innovatsii»*. [Influence of surface active centers on the reactivity of mineral additives. *Scientific journal "Modern Science and Innovations"*]. №2 (18). Pp. 168-175.
5. Murtazaev, S-A. Yu. and Salamanova, M. Sh. (2018) 'Perspektivy ispol'zovaniya termoaktivirovannogo syr'ya alyumosilikatnoi prirody'. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. [Prospects for the use of thermally activated raw materials of aluminosilicate nature. *Privolzhsky scientific journal*]. №2 (T. 46). Pp. 65-70.
6. Murtazayev, S- A. Yu., Salamanova, M. Sh., Alashanov, A. and Ismailova, Z. (2019) 'Features of Production of Fine Concretes Based on Clinkerless Binders of Alkaline Mixing'. *14th*

- International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 23-27 September 2019. Belgorod. Pp. 385-388. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_93*
7. Zhang, Z., Provis, J. L., Zou, J., Reid, A. and Wang, H. (2016) Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolymer manufacture. *Cement and Concrete Research*. Pp. 163-173.
 8. Rakhimova, H. P. (2008) 'Sostoyanie i perspektivnye napravleniya razvitiya issledovaniy i proizvodstva kompozitsionnykh shlakoshchelochnykh vyazhushchikh, rastvorov i betonov' *Stroitel'nye materialy*. [State and perspective directions of development of research and production of composite slag-alkaline binders, mortars and concrete]. №9. Pp. 77-80.
 9. Hardjito, D., Wallah, S., Sumajouw, D. and Rangan, B. 'On the development of fly ash-based geopolymer concrete'. *ACJ Materials Journal*. 2004. Vol. 101. Pp. 467-472.
 10. Davidovitz, J. (2008) *Geopolymer. Chemistry and applications*. Saint-Quentin: Institute Geopolymer. 592 p.
 11. Korneev V.I. and Danilov V.V. (1996) *Rastvorimoe i zhidkoe steklo*. [Soluble and liquid glass]. Stroyizdat. St. Petersburg, 216 p.
 12. Fadhil, Nuruddin M., Demie, S., Fareed and Ahmed M., Nasir, Shafiq. (2011) Effect of Superplasticizer and NaOH molarity on workability, compressive strength and Microstructure Properties of Self-Compacting Geopolymer Concrete. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. №75. Pp. 908-914.
 13. Alex, T. C., Nath, S. K., Kumar, S., Kalinkin, A. M., Gurevich, B. I., Kalinkina, E. V. and Tyukavkina, V. V. (2013) 'Utilization of zinc slag through geopolymerization: influence of milling atmosphere'. *International Journal of Mineral Processing*. Vol. 216. Pp. 102-107.
 14. Villa, C., Pecina, E. T., Torres, R. and Gomez, L. (2010) 'Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite'. *Construction and Building Materials*. Vol. 24. Pp. 2084-2090.
 15. Rakhimova, N. R. and Rakhimov, R. Z. (2013) 'Kompozitsionnye shlakoshchelochnye vyazhushchie s mineral'nymi dobavkami razlichnogo tipa aktivnosti'. *Vestnik Volzhskogo regional'nogo otdeleniya Rossiiskoi akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk*. [Composite slag-alkaline binders with mineral additives of various types of activity. Bulletin of the Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences]. №16. S. 204-216.
 16. Murtazayev, S.A. Yu., Salamanova, M. Sh., Mintsae, and M. Sh. and Bisultanov, R. G. (2019) 'Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging'. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov (ISES 2019)*. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. Pp. 500-503. <https://www.atlantis-press.com/proceedings/isees-19/125914231>
 17. Bataev, D. K-S., Murtazayev, S-A. Yu., Salamanova, M. Sh. and Viskhanov, S. S. (2019) 'Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders'. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISES 2019)*. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. Pp. 457-460, available at: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/isees-19/125914222>
 18. Rakhimov, M. M., Khabibullina, N. R. and Rakhimov, R. Z. (2016) 'Mekhanizm otverzheniya boratnykh solevykh rastvorov shlakoshchelochnymi vyazhushchimi'. *Tsement i ego primenenie*. [The mechanism of curing of borate salt solutions with slag-alkaline binders. Cement and its application]. №3. Pp. 96-99.
 19. Dombrowski, K. (2007) 'The Influence of Calcium Content on the Structure and Thermal Performance of Fly Ash Based Geopolymers'. *Journal of Materials Science*. Vol. 42. №9. Pp. 3033-3043.
 20. Pawlasova, S. and Skvara, F. (2008) 'High-Temperature Properties of Geopolymer Materials'. *Akali Activated Materials*. Pp. 523-525.
 21. Khater, H. M. (2015) 'Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT'. *Advances in Nano Research*. Vol. 3. №4. Pp. 225-242.

22. Khater, H. M., El Nagar, A. M., Ezzat, M. (2016) 'Optimization of Alkali Activated Grog/Ceramic Wastes Geopolymer Bricks'. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. Vol. 5. Issue 1. Pp. 37-46.
23. Nagajothi, S. and Elavenil, S. (2016) 'Strength assessment of geopolymer concrete using M-sand'. *Int. J. Chem. sci.* № 14 (Vol. 1). Pp. 115-126.
24. Salamanova, M. Sh., Nakhaev, M. R. and Ismailova, Z. Kh. (2020) 'Zakonomernosti protekaniya protsessov formirovaniya struktury i prochnosti besklinkernogo vyazhushchego shchelochnoi aktivatsii'. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal «Stroitel'nye materialy i izdeliya»*. [Patterns of the processes of formation of the structure and strength of a clinker-free binder of alkaline activation. *International Research Journal "Building Materials and Products"*]. V. 3. № 1. Pp. 21-29. Available at: <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2020-3-1-21-29>
25. Taramov, Yu. Kh., Tsamaeva, P. S. and Elmurzaev, A. A. (2022) 'Vliyanie sostava bituma na jekspluatacionnye svoystva'. *Vestnik GGNTU. Tehnicheskie nauki*. [Influence of bitumen composition on operational properties. *Herald of GSTOU. Technical sciences*]. V. 18. № 1 (27). Pp. 54-62.
26. Bataev, D.K. S, Goitemirov, U., Apkarov, Sh. I., and Edilsultanov, M. V. (2018) 'K voprosu razrabotki polimernyh kompozicionnyh materialov dlja nakopitel'nyh konvejerov s reglamentirovannym diapazonom frikcionnyh svoystv'. *Groznenskij estestvennonauchnyj bjulleten'*. [On the issue of developing polymer composite materials for storage conveyors with a regulated range of friction properties. *Grozny Natural Science Bulletin*]. V. 3. № 6 (14). Pp. 76-81.
27. Zaalishvili, V. B., Melkov, D. A., Mazhiev, Kh. N. (2005) 'Chislennoe issledovanie vlijanija stroenija gruntovoj tolshhi na spektral'nyj sostav kolebanij na poverhnosti pri intensivnyh nagruzkah'. *V sbornike: Geotekhnicheskie problemy stroitel'stva na prosadochnyh gruntah v sejsmicheskikh rajonah. Trudy III-go Central'no-Aziatskogo geotekhnicheskogo simpoziuma*. [Numerical study of the influence of the structure of the soil stratum on the spectral composition of vibrations on the surface under intense loads. In the collection: *Geotechnical problems of construction on subsidence soils in seismic regions. Proceedings of the III Central Asian Geotechnical Symposium*]. Pp. 269-271.

КОМПЛЕКСНАЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНАЯ ДОБАВКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

© ¹С. Г. Шеина, ^{2,3}М. С. Сайдумов, ^{2,4}И. С-А. Муртазаев, ⁵М. П. Маслаков

¹ДГТУ, Ростов на Дону, Россия

²ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

³АН ЧР, Грозный, Россия

⁴КНИИ им. Х. И. Ибрагимова РАН, Грозный, Россия

⁵СКГМИ(ГТУ), Владикавказ, Россия

Статья посвящена проблеме разработки органоминеральной добавки для проектирования современных высококачественных строительных композитов с применением некондиционного природного и техногенного сырья.

В статье представлены результаты исследований по изучению запасов сырья Чеченской и соседних республик и областей, с целью установления возможности для получения на их основе современных высококачественных композитов для возведения строительных конструкций и производства строительных работ. Приведен сравнительный анализ данных по изучению технологических (подвижность, удобоукладываемость и др.), физических, механических и деформативных свойств, как бетонной смеси на различном сырье, так и бетона. Определены свойства и структура строительных композитов, полученных с использованием органоминеральной добавки на основе техногенного сырья.

Установлено, что бетоны на основе местного техногенного и природного сырья характеризуются повышенной прочностью (50 МПа и выше), сохраняемостью (более 10 час.), незначительными значениями относительных деформаций усадки (не более 0,6-0,75 мм/м), меньшим размером пор, а значит, и повышенными показателями долговечности.

Ключевые слова: высококачественные бетоны, строительные композиты, композиционные вяжущие, минеральный порошок, долговечность.

На современном этапе развития сборного и монолитного строительства актуальной представляется проблема внедрения нового поколения бетонных композитов, получивших одинаковое название во всем научном мире – «High Performance Concrete» (высококачественные бетоны). Они обладают такими высокими строительными свойствами, как: марка по водонепроницаемости W 12 и больше; марка по морозостойкости – не менее F 400; показатель истираемости, не превышающий 0,3-0,4 г/см²; процент водопоглощения – 1-2,5; высокий показатель от проникновения хлоридов; повышенный показатель газонепроницаемости; управляемые значения деформативности (включая показатель компенсации усадки бетона при 28-мисуточном твердении его в естественных условиях) [1, 2, 4, 8, 10].

Отечественный опыт применения высококачественных бетонных композитов начинает свой отсчет со строительства таких знаменитых комплексов, как Московский ЖК «Триумф-палас», не менее известный Санкт-Петербургский небоскреб – «Лахта центр», небоскреб в Екатеринбурге – БЦ «Высоцкий», а также небызвестный многофункциональный высотный комплекс в г. Грозный – «Грозный Сити». Планируется возведение 104-этажной высотной башни в Грозном – «Ахмат-Тауэр» (рисунок 1), для возведения которой потребуются разработка рецептуры высококачественных бетонов от классов В40 и выше до В150. Такой выбор линейки классов бетонов диктуется тем, что правильный выбор вида бетонного композита обеспечивает требуемые показатели долговечности и надежную эксплуатацию

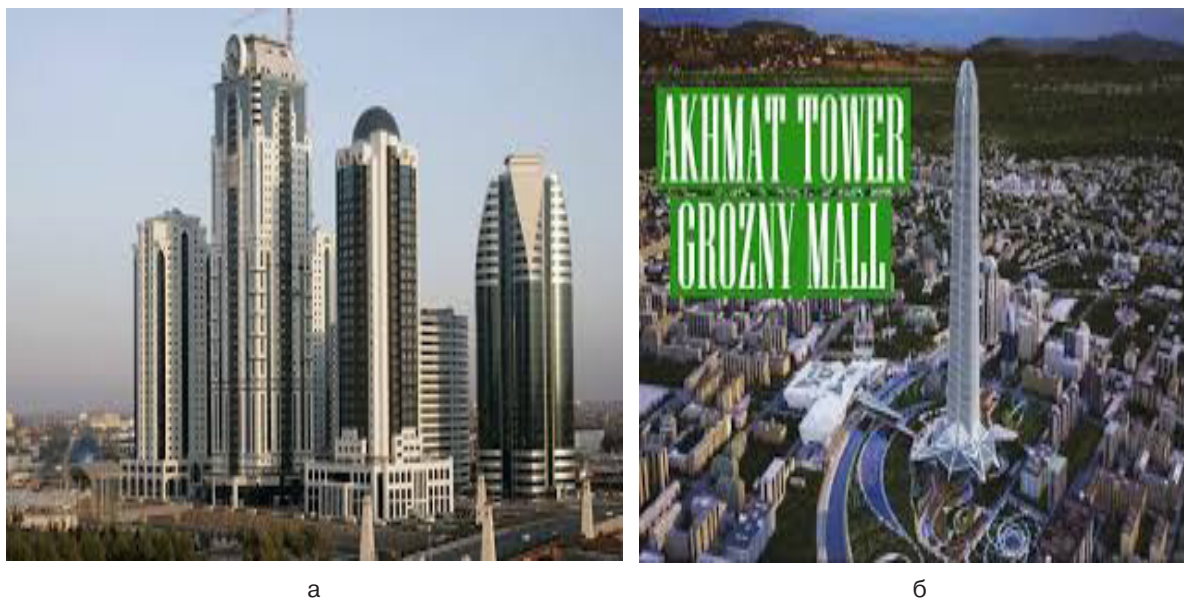


Рис. 1. Высотные комплексы в г. Грозный: а – «Грозный Сити» и б – проект «Ахмат-Тауэр»

зданий и сооружений [3, 8, 9, 16], при их работе в условиях различного набора негативного воздействия внешней среды, а также от нагрузок самого здания.

Теоретическая база проектирования таких композитов основана на способах и приемах управления структурообразованием и свойствами бетона на основе широкого использования разнообразного спектра активных минеральных добавок, по качеству отвечающих повышенным требованиям.

Доказано [4-7, 11-16], что для получения высококачественных бетонных композитов классов В40-В150 требуются цементы с неизменяемыми параметрами минералогического и химического составов, отвечающие ГОСТу качественные пески и фракции щебня 5-10 и 10-20 мм из горных пород высокой прочности, высокодисперсные наполнители-микрокремнеземы и порошки тонкомолотых минеральных добавок, а также гипер- или суперпластификаторы.

В НТЦКП «Современные строительные материалы и технологии» ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова в последние десятилетия ведутся научно-исследовательские работы, направленные на совершенствование технологий получения высококачественных бетонов. Результаты проведенных исследований внедрены при возведении конструктивных элемен-

тов торгово-развлекательного центра «Грозный-Молл» и планируются к использованию при строительстве высотного комплекса «Ахмат-Тауэр».

В настоящей статье приведены результаты изучения реотехнологических, эксплуатационных и физико-механических свойств бетонных композитов, полученных на основе использования комплексной органоминеральной добавки (КОМД). КОМД включала в себя портландцемент и дисперсные тонкомолотые наполнители (ТМН) в различных пропорциях: отсева дробления бетонного лома (ОДБЛ), золошлаковую смесь (ЗШС), пылевидную фракцию отсева дробления горных пород (известняк) и мелкие кварцевые пески (кварц).

При приготовлении первой партии образцов тонкомолотые минеральные добавки использовались в качестве наполнителя, и их расход составлял не более 30% от расхода цемента по массе. Пластифицирующий эффект смесей достигался применением минеральной добавки Д-5 отечественного производства в объеме 2,5% и вводится в сухом виде вместе с цементом. Для проведения исследований использовались стандартные методики проведения испытаний. Прочность определялась с использованием кубических образцов с ребром 15 см, которые предварительно выдерживались в естественных условиях окружающей

Таблица 1.

Рецептура и свойства бетонных композитов на разных минеральных наполнителях и с добавкой Д-5

№ п.п.	Вид ТМН	В/Ц	Расход компонентов, кг						Подвижность		Плотность бетонной смеси, кг/м ³
			Щебень	Песок	Цемент	Вода	Добавка		ОК, см	Ж, с	
							ТМН	Д-5			
1	Пыль ОДБЛ	0,50	1292	521	376	191	112	9,45	16	-	2489
2		0,44	1297	541	377	167			-	12	2488
3		0,40	1298	566	372	148			-	61	2492
4	ЗПС	0,51	1285	524	373	189	112	9,45	12	-	2489
5		0,44	1298	531	376	172			4	-	2479
6		0,40	1299	551	377	151			-	46	2489
7	Известняк	0,51	1277	522	377	193	112	9,45	13	-	2473
8		0,44	1298	526	377	170			4	-	2462
9		0,41	1297	541	378	154			-	40	2489
10	Кварц	0,50	1273	531	376	191	112	9,45	16	-	2477
11		0,44	1283	542	378	173			5	-	2471
12		0,41	1294	557	377	152			-	45	2489

Примечание: В/Ц – водоцементное отношение; Ц – цемент М500 Д0 «Чеченцемент»; П – песок Червленного месторождения; Щ – щебень с Аргунского карьера ЧР; В – вода; ТМН – тонкомолотый минеральный наполнитель; Д – добавка Д-5 (дозировка – 2,5% от массы цемента); ОК – осадка конуса; Ж – жесткость бетонной смеси.

Таблица 2.

Физико-механические свойства бетонных композитов

Номера составов из табл. 1	Плотность бетона, кг/м ³	Прочность бетона, МПа, в возрасте суток			
		1	3	7	28
1	2323	13,6	21,3	46,8	57,5
2	2345	14,1	21,6	48,5	61,3
3	2371	14,6	22,5	55,6	68,1
4	2316	12,3	18,4	41,3	53,6
5	2351	12,5	19,2	42,9	57,4
6	2357	12,6	20,0	46,2	59,3
7	2308	12,4	20,6	42,9	55,8
8	2358	12,7	20,9	44,0	57,2
9	2363	12,6	20,9	46,5	60,2
10	2332	12,9	20,6	43,8	54,8
11	2361	13,1	20,7	46,6	58,1
12	2392	13,2	21,6	49,9	60,9

Таблица 3.
Составы бетонов с ТМН из бетонного лома и химическими добавками Д-5 и Линамикс РС

№ п. п.	Расход материалов, кг						Удобоукладываемость		
	Щ	П	Ц	В	Добавки			ОК, см	Ж, с
					ТМН	Д-5	«Линамикс РС»		
1	1295	528	375	182	112	9,45	3,05	18	-
2	1295	538	375	167	112			3	-
3	1305	558	375	145	112			-	43
4	1205	398	500	274	112	12,45	4,05	17	-
5	1205	447	500	224	112			2	-
6	1235	468	500	174	112			-	53
7	1045	497	600	332	112	15,05	4,85	17	-
8	1105	498	600	272	112			3	-
9	1165	398	600	212	112			-	51
10	1205*	498	500	272	112	12,55	4,05	18	-
11	1235*	468	500	174	112			-	44
12	1045*	405	600	328	112	12,55	4,85	18	-
13	1165*	405	600	212	112			-	57

среды и подвергались испытанию в 1, 3, 7 и 28-суточном возрасте.

Составы бетонов [6, 17] с расходом цемента на 1 м³ бетона 370 кг без химических добавок и с минеральными наполнителями на сжатие имели прочность 44-48 Мпа.

С целью изучения влияния различных добавок на реологические и физико-механические свойства бетонных композитов исследовались составы, представленные в таблицах 1 и 2.

Анализ полученных данных (табл. 1, 2) свидетельствует о том, что наиболее эффективным по набору прочности бетоном является ТМН, состоящий из пыли ОДБЛ в сочетании с комплексной минеральной добавкой Д-5. Прочность на сжатие бетонных образцов на основе КОМД в 28-мисуточном возрасте составила 68,1 МПа (табл. 2, состав 3), что на сорок-пятьдесят процентов выше в сравнении с прочностью контрольного образца без добавки. Показатель суточной прочности представленных составов находится в диапазоне от 12 до 15 МПа. Но при этом показатель сохраняемости исследованных составов бетона не превосходил 3-4 часа.

Для улучшения показателей удобоукладываемости и сохраняемости исследуемых

бетонных смесей проведены эксперименты с использованием в качестве замедлителя твердения химической добавки «Линамикс РС» в объеме 0,8% от расхода цемента. В бетонных смесях использовался ТМН из пыли ОДБЛ (табл. 3).

Учитывая, что расход цемента для получения высокопрочных бетонов, как правило, составляет от 500 до 650 кг на 1 м³ бетонной смеси, нами исследовались составы с расходом цемента до 600 кг/м³. В качестве инертных компонентов бетона наряду с местными песком и щебнем применялся гранитно-диабазовый щебень (марка по дробимости М1200-М1400 фракции 5-10 мм) из Северной Осетии.

Анализ полученных данных (таблицы 3, 4) свидетельствует, что прочность бетона на сжатие с КОМД уже через 1 сутки обеспечивается в диапазоне 20-25 МПа, что соответствует значению 30% от проектной 28-суточной прочности. Полученный эффект объясняется эффектом синергии от взаимодействия компонентов КОМД.

Таким образом, предложена комплексная органоминеральная добавка, применение которой в рецептурах бетонной смеси позволяет получать бетонные композиты с прочностью

Таблица 4.

Свойства бетонов с ТМН из бетонного лома и химическими добавками Д-5 и Линамикс РС

Номера составов из табл. 3	Плотность бетона, кг/м ³	Прочность бетона, МПа, в возрасте суток			
		1	3	7	28
1	2333	14,2	43,4	55,1	58,1
2	2348	15,5	46,7	57,2	60,6
3	2374	16,1	49,2	67,5	68,4
4	2389	18,5	51,8	71,3	76,1
5	2396	19,2	52,2	73,1	77,6
6	2414	21,8	54,1	75,2	79,2
7	2397	19,8	56,1	76,6	81,6
8	2400	21,2	58,1	79,2	83,0
9	2410	24,4	61,7	81,2	85,4
10	2443	18,6	57,4	78,3	82,4
11	2441	21,7	63,7	83,4	88,8
12	2443	19,3	65,3	84,3	89,4
13	2467	25,7	69,7	87,7	92,7

на сжатие до 100 МПа. КОМД состоящая из ТМН, Д-5 и «Линамикс РС», повышает показатель сохраняемости до 6-10 часов, что обеспечивает широкое применение бетонов на их основе для возведения конструктивных элементов зданий и сооружений при монолитном строительстве.

Достижение суточной прочности в диапазоне 15-25 МПа позволяет говорить о существенном повышении индустриальности монолитного строительства ввиду того, что тем самым обеспечивается и суточная оборачиваемость опалубки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баженов Ю. М.* Мелкозернистые бетоны из техногенного сырья для ремонта и восстановления поврежденных зданий и сооружений / *Ю. М. Баженов, Д. К.-С. Батаев, С.-А. Ю. Муртазаев* [и др.]. Грозный, 2011. 342 с.
2. *Муртазаев С.-А. Ю. Саламанова М. Ш.* Высокопрочные бетоны с использованием фракционированных заполнителей из отходов переработки горных пород // Устойчивое развитие горных территорий. 2015. № 1 (23). С. 23-28.
3. *Баженов Ю. М., Демьянова В. С., Калашиников В. И.* Модифицированные высококачественные бетоны: Научное издание. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.
4. *Dosho Y.* Development of a Sustainable Concrete Waste Recycling System «Application of Recycled Aggregate Concrete Produced by Aggregate Replacing Method» // Journal of Advanced Concrete Technology. Japan Concrete Institute. Scientific paper. 2007. Vol. 5. № 1. P. 27-42.
5. *Yanagibashi K.* A new recycling process for coarse aggregate to be used concrete structure. / *K. Yanagibashi, T. Yonezawa, T. Iwashimizu, D. Tsuji, K. Arakawa, M. Yamada.* Environment-Conscious Materials and Systems for Sustainable Development. Proceedings of RILEM International Symposium. Tokyo, 2004. P. 137-143.
6. *Лесовик В. С.* Строительные композиты на основе отсеков дробления бетонного лома и горных пород / *В. С. Лесовик, С.-А. Ю. Муртазаев, М. С. Сайдумов* // Грозный: ФГУП «Издательско-полиграфический комплекс «Грозненский рабочий». 2012. 192 с.

7. *Brameshhuber W., Schubbert P.* Neue Entwicklungen bei Beton und Mauerwerk. Centrum Baustoffe und Material- prufund: Fest-schrift zum 60. Geburgtstag von Prof. Dr.-Jng. Peter Schlupi. 2003. №2. Pp. 199-220.
8. *Каприелов С. С.* Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях. Ч. II / *С. С. Каприелов* [и др.] // Строительные материалы. 2008. №3. С. 9-13.
9. *Саламанова М.Ш.* Разработка составов долговечных бетонов с использованием композиционного вяжущего / *М.Ш. Саламанова, Р.Г. Бисултанов, Т. С-А. Муртазаева, М. С-М. Хубаев* // Научное обозрение. 2016. №10. С. 56-65.
10. *Lukuttsova N.P.* Extreme modelling of concrete optimal composition and content of the components / *N.P. Lukuttsova, A.A. Pykin, S.N. Golovin, P.A. Artamonov* // Key Engineering Materials. 2021. №887. Pp. 536-541.
11. *Bondarev B.A.* Research of fiberglass polymer concrete switch bars on endurance under cyclic loading / *B.A. Bondarev, A.Y. Sychev, A.A. Kosta* // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Т. 147. С. 294-301.
12. *Urkhanova, L.A.* Mechanical and electrical properties of concrete modified by carbon nanoparticles / *L.A. Urkhanova, S.L. Buyantuev, A.A. Urkhanova, S.A. Lkhasaranov, G.R. Ardashova, R.S. Fediuk, A.P. Svintsov, I.A. Ivanov* // Magazine of Civil Engineering. 2019. №8 (92). С. 163-172.
13. *Саламанова М.Ш., Муртазаев С-А. Ю., Аласханов А.Х., Муртазаев Т. С-А.* Перспективы использования отходов цементной промышленности для получения современных бетонных композитов // Строительные материалы. 2021. №5. С. 54-63.
14. *Nesvetaev G., Koryanova Y., Zhilnikova T.* On effect of superplasticizers and mineral additives on shrinkage of hardened cement paste and concrete // MATEC Web of Conferences 27. Ser. "27th R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFoCE 2018" 2018. С. 04018.
15. *Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M.Sh., Alashanov A.Kh., Ismailova Z.Kh.* Features of Production of Fine Concretes Based on Clinkerless Binders of Alkaline Mixing // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 23-27 September 2019. Belgorod, 2019. Pp. 385-388.
16. *Баснукаев И.Ш.* Нанотехнологии и наноматериалы / *И.Ш. Баснукаев, А.А. Исламов, Д.Ш. Мусостова* // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2021. Т. 17. №4 (26). С. 50-56.
17. *Керимов И.А., Бадаев С.В.* Сейсмичность и сейсмическая опасность терско-каспийского прогиба / *И.А. Керимов, С.В. Бадаев* // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2021. Т. 6. №3 (25). С. 20-34.
18. *Mintsaeв M. S., Aliev S. A., Kuladzhi T. V.* Comparative analysis of 5g/imt-2020 communications networks, wireless technologies and quantum technologies / *M.S. Mintsaeв, S.A. Aliev, T.V. Kuladzhi* // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. 2020. С. 927-1084.

COMPLEX ORGANOMINERAL SUPPLEMENT USING NATURAL AND MAN-MADE RAW MATERIALS

©¹S. G. Sheina, ^{2,3}M. S. Saydumov, ^{2,4}I. S-A. Murtazaev, ⁵M.P. Maslakov

¹DSTU, Rostov-on-Don, Russia

²GSOTU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

³Academy of Sciences of the Chechen Republic, Grozny, Russia

⁴Kh. Ibragimov Complex Institute of the RAS, Grozny, Russia

⁵NCMMI (STU), Vladikavkaz, Russia

The article is devoted to the problem of developing an organomineral additive for the design of modern high-quality building composites using substandard natural and technogenic raw materials. The article presents the results of research on the study of the reserves of raw materials in the Chechen and neighboring republics and regions, in order to establish the possibility of obtaining on their basis modern high-quality composites for the construction of building structures and the production of civil works.

A comparative analysis of data on the study of technological (mobility, workability, etc.), physical, mechanical and deformation properties of both a concrete mixture based on various raw materials and concrete is given. The properties and structure of building composites obtained using an organomineral additive based on technogenic raw materials have been determined.

It has been established that concretes based on local technogenic and natural raw materials are characterized by increased strength (50 MPa and more), shelf life (more than 10 hours), insignificant values of relative shrinkage deformations (no more than 0.6-0.75 mm/m), smaller size pores, and, therefore, increased durability.

Keywords: high-quality concretes, building composites, composite binders, mineral powder, durability

REFERENCES

1. Bazhenov, Yu. M., Bataev, D. K-S., Murtazaev S-A. Yu. and others (2011) 'Melkozernistyye betony iz tekhnogennoy syr'ya dlya remonta i vosstanovleniya povrezhdennykh zdaniy i sooruzhenii'. [Fine-grained concrete from technogenic raw materials for repair and restoration of damaged buildings and structures], Grozny, 342 c.
2. Murtazaev, S-A. Yu. and Salamanova, M. Sh. (2015) 'Vysokoprochnyye betony s ispol'zovaniem fraktsionirovannykh zapolnitelei iz otkhodov pererabotki gornykh porod'. *Zhurnal «Ustoichivoe razvitiye gornykh territorii»*. [High-strength concretes using fractionated aggregates from rock processing waste. Journal "Sustainable Development of Mountain Territories"]. №1 (23), pp. 23-28.
3. Bazhenov, Yu. M., Demyanova, B. C. and Kalashnikov, V. I. (2006) 'Modifitsirovannyye vysokokachestvennyye betony. Nauchnoye izdanie. [Modified high-quality concretes. Scientific publication]. Publishing House of the Association of Construction Universities, Moscow, 368 p.
4. Dosho, Y. (2007) 'Development of a Sustainable Concrete Waste Recycling System "Application of Recycled Aggregate Concrete Produced by Aggregate Replacing Method"'. *Journal of Advanced Concrete Technology*. Japan Concrete Institute. scientific paper. Vol. 5. № 1. Pp. 27-42.
5. Yanagibashi, K. Yonezawa, T., Iwashimizu, T., Tsuji, D., Arakawa, K. and Yamada, M. 'A new recycling process for coarse aggregate to be used concrete structure'. Environment Conscious Materials and Systems for Sustainable Development'. *Proceedings of RILEM International Symposium*. Tokyo. 2004. P. 137-143.

6. Lesovik, V.S. Murtazaev, S-A. Yu. and Saidumov M.S. (2012) 'Stroitel'nye kompozity na osnove otsevvov drobleniya betonnoogo loma i gornykh porod' [Structural composites based on screenings for crushing concrete scrap and rocks]. Federal State Unitary Enterprise "Publishing and Printing Complex "Groznsky Rabochiy", Grozny, 192 p.
7. Brameshuber, W. und Schubbert, P. (2003) Neue Entwicklungen bei Beton und Mauerwerk. Centrum Baustoffe und Material- prufund: Fest-schrift zum 60. Geburgtstag von Prof.Dr. Ing. Peter Schlupi. №2, pp. 199-220.
8. Kaprielov, S. S. (2008) 'Modifitsirovannye vysokoprochnye betony klassov V80 i V90 v monolitnykh konstruksiyakh'. *Stroitel'nye materialy*. [Modified high-strength concretes of classes B80 and B90 in monolithic structures. Part II. Construction materials]. №3, pp. 9-13.
9. Salamanova, M. Sh., Bisultanov, R. G., Murtazaeva, T. S-A. and Khubaev, M. S-M. (2016) 'Razrabotka sostavov dolgovechnykh betonov s ispol'zovaniem kompozitsionnogo vyazhushchego'. Development of compositions of durable concretes using composite binder. *Scientific Review*. №10, pp. 56-65.
10. Lukutsova, N.P. Pykin, A.A. Golovin, S. N. and Artamonov, P. A. (2021) Extreme modeling of concrete optimal composition and content of the components. *Key Engineering Materials*. №887, pp. 536-541.
11. Bondarev, B. A., Sychev, A. Y. and Kosta, A. A. (2021) Research of fiberglass polymer concrete switch bars on endurance under cyclic loading. *Lecture Notes in Civil Engineering*. V. 147. Pp. 294-301.
12. Urkhanova, L. A., Buyantuev, S. L., Urkhanova, A. A., Lkhasaranov, S.A. Ardashova, G. R., Fediuk, R. S., Svintsov, A. P. and Ivanov, I. A. (2019) 'Mechanical and electrical properties of concrete modified by carbon nanoparticles'. *Journal of Civil Engineering*. №8 (92). Pp. 163-172.
13. Salamanova, M. Sh., Murtazaev, S-A. Yu., Alashanov, A. Kh. and Murtazaev, T. S-A. (2021) 'Perspektivy ispol'zovaniya otkhodov tsementnoi promyshlennosti dlya polucheniya sovremennykh betonnykh kompozitov'. *Stroitel'nye materialy*. [Prospects for the use of cement industry waste to obtain modern concrete composites]. №5. Pp. 54-63.
14. Nesvetaev, G., Koryanova, Y. and Zhilnikova, T. (2018) 'On the effect of superplasticizers and mineral additives on shrinkage of hardened cement paste and concrete'. *In the collection: MATEC Web of Conferences 27. Ser. "27th R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFOCE 2018"*, P. 04018.
15. Murtazayev, S.A. Yu., Salamanova, M. Sh., Alashanov, A. Kh. and Ismailova, Z. Kh. 'Features of Production of Fine Concretes Based on Clinkerless Binders of Alkaline Mixing'. *14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019)*. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 23-27 September 2019, Belgorod, pp. 385-388.
16. Basnukaev, I. Sh., Islamov, A. A. and Musostova, D. Sh. (2021) 'Nanotehnologii i nanomaterialy' [Nanotechnologies and nanomaterials], Herald of GSTOU. *Technical sciences*. V. 17. №4 (26). Pp. 50-56.
17. Kerimov, I. A. and Badaev, S. V. 'Sejsmichnost' i sejsmicheskaja opasnost' tersko-kaspijskogo progiba'. *Groznskiy estestvennonauchnyj bjulleten*. [Seismicity and seismic hazard of the Terek-Caspian trough. Grozny Natural Science Bulletin]. V. 6. №3 (25). Pp. 20-34.
18. MintsaeV, M. S., Aliev, S. A. and Kuladzhi, T. V. (2020) 'Comparative analysis of 5g/imt-2020 communications networks, wireless technologies and quantum technologies'. *In the collection: 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020*. P. 927-1084.

Первый на Северном Кавказе карбоновый полигон открылся в Чеченской Республике

Глава Минобрнауки России Валерий Фальков принял участие в церемонии открытия первого на Северном Кавказе карбонового полигона «Way Carbon». Вместе с министром новую площадку посетил специальный представитель Президента РФ по вопросам климата Руслан Эдельгериев.

Совместный проект Чеченского государственного университета имени А.А.Кадырова и Грозненского нефтяного технического университета имени академика Миллионщикова решает ряд стратегических аграрных и климатических задач. Полигон «Way Carbon» объединяет принципиально разные карбоновые фермы, которые расположены в различных климатических зонах Кавказа. В него входят 12 лабораторий и открытых участков общей площадью 1785 гектаров. Объект оснащен новейшей лабораторной инфраструктурой для решения экологической задачи по секве-

страции парниковых газов — трансформации углекислого газа в почвенный органический углерод.

Обращаясь к ученым, преподавателям, аспирантам и студентам Чеченской Республики, Валерий Фальков отметил существенный потенциал России в формирующейся секвестрационной индустрии за счет природных и аграрных проектов. Естественные климатические условия ландшафта, на котором горные альпийские и субальпийские луга соседствуют с широколиственными горными лесами, позволяют эффективно использовать технологии поглощения и удержания углекислого газа в растительности и почве.

«Россия сильна регионами, и эта мозаика разных по культуре, климату, ландшафту мест делает нашу страну сильной и уникальной, в том числе и в научном плане. У Чеченской Республики много достоинств, и одно из них —





природа, которая дает возможность проводить исследования на гористой местности, альпийских лугах и равнинах. Мы создали инфраструктуру, куда будут приезжать тысячи ребят: школьники, студенты, молодые аспиранты как из самой Чечни, так и из других регионов», — сказал глава Минобрнауки России.

Эльхан Сулейманов отметил, что республика входит в число субъектов, где созданы первые в стране карбоновые полигоны. Одним из преимуществ для создания карбоновых полигонов на территории именно Чеченской Республики является уникальная география с большим многообразием природных зон.

Итоги визита министр обсудил с главой Чеченской Республики Рамзаном Кадыровым. Во встрече приняли участие ректор ЧГУ Заурбек Саидов и ректор ГГНТУ Магомед Минцаев.

В Чеченской Республике операторами карбонового полигона выступают Чеченский госуниверситет им. А. А. Кадырова и Грозненский государственный нефтяной технический университет им. академика М.Д. Миллионщикова. Всего в регионе 14 участков. Одним из преимуществ республики является многообразие расположенных на небольшой площади природных зон: горные леса, горные луга, лесостепная зона, полупустыни, степная зона. Все они находятся в разных местах.

Дополнительные сведения по проекту создания карбонового полигона Чеченской Республики представлены на сайте <https://carbon-polygons.ru>

ВЕСТНИК ГГНТУ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

2022. Том XVIII. № 2 (28)

Редактор – *Таймасханова З.Р.*

Корректор, дизайн и верстка – *Маслов Е.Н.*

Технический секретарь – *Алаудинова А.И.*

Выход в свет 26.08.2022

Формат 60x84/8. Печать офсетная

Усл. печ. л. 11,4. Тираж 350 экз. Заказ № 83

Свободная цена

Типография: ИПЦ ИП Цопанова А.Ю.

362002, г. Владикавказ, пер. Павловский, 3

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ №ФС77-79693 от 27 ноября 2020 г.

Журнал основан в 2001 г.