



ISSN: 2686-7567

2023
№3(33)

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

2023

Том XIX

№ 3 (33)

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

д. т. н., профессор Минцаев Магомед Шавалович

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

Ответственный секретарь – д. 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., доцент М. С. Сайдумов (ГГНТУ)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Строительство. Архитектура

д. т. н., профессор Д. К-С. Батаев

д. т. н., профессор Г. Н. Хаджишалапов

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, Doctor
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 15.02.2022 г.), 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) 29-59-3263

<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, 2023

© Редакционная коллегия

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Богатырев В.А., Ту Л.А., Абрамова Е.А.

Влияние размещения двух групп узлов реконфигурации дублированных путей на надежность сети 5

Моисеенко Н.А., Цуев М.М., Саратова Э.Х.

Большие данные и некоторые возможности их применения 15

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Джамбулатов Р.С.

Поверхностные свойства водных растворов органических веществ 24

Ахтаев С.С.-С., Уздиева Н.С., Нурадинов А.С., Эльмурзаев А.А.

Управление процессами кристаллизации и структурообразования слитков путем внешних физико-химических воздействий на жидкий и затвердевающий металл .. 33

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

Обработка нефтесодержащих шламов экстракцией растворителем 42

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Алиев С.А., Терехова Е.Д., Муртазаев И. С-А., Алиева Х.А.

Грозненский НИИ: креативная индустрия как инструмент возрождения депрессивных территорий городской среды 50

Кабалин М.Д., Замуруев А.В., Курлыкина А.В., Кузнецов Д.А.

Теоретические аспекты укрепления грунта в дорожном строительстве 64

Кокоев М.Н., Казиев В.М.

Диагностика степени повреждений и алгоритм определения функциональной зависимости технического состояния зданий во времени 77

Кокоев М.Н.

Расширение строительства жилья, дорог и мостов – способ минимизации ущерба от санкций 86

Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш., Корянова Ю.И.

Разработка полиморфной вяжущей системы на основе карбонатной добавки..... 96

CONTENTS

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

- V.A. Bogatyrev, L.A. Tu, E.A. Abramova**
NETWORK RELIABILITY WITH PLACING TWO GROUPS OF NODES OF RECONFIGURATION
OF DUPLICATED PATHS 5
- N.A. Moiseenko, M.M. Tsuev, E.Kh. Saratova**
BIG DATA AND SOME POSSIBILITIES OF THEIR APPLICATIONS 15

CHEMICAL TECHNOLOGIES

- R.S. Dzhambulatov**
SURFACE PROPERTIES OF AQUEOUS SOLUTIONS OF ORGANIC SUBSTANCES 24
- S-S. Akhtaev, N.S. Uzdieva, A.S. Nuradinov, A.A. Elmurzaev**
CONTROLLING THE PROCESSES OF CRYSTALLIZATION AND STRUCTURE FORMATION
OF INGOTS BY EXTERNAL PHYSICAL AND CHEMICAL INFLUENCES ON LIQUID AND
SOLIDIFYING METAL..... 33
- P.S. Tsamaeva, A.A. Elmurzaev, Yu.Kh. Taramov**
TREATMENT OF OIL-CONTAINING SLUTS BY SOLVENT EXTRACTION..... 42

CONSTRUCTION. ARCHITECTURE

- S.A. Aliyev, E.D. Terekhova, Kh.A. Aliyeva**
GROZNY RESEARCH INSTITUTE: ART CLUSTER FORMATION ANALYSIS FOR THE
INDUSTRIAL ZONE TERRITORIES REHABILITATION OF THE URBAN ENVIRONMENT 50
- M.D. Kabalin, A.V. Zamuruev, A.V. Kurlykina, D.A. Kuznetsov**
THEORETICAL ASPECTS OF SOIL STRENGTHENING IN ROAD CONSTRUCTION..... 64
- M.N. Kokoev, V.M. Kaziev**
DIAGNOSTICS OF THE DEGREE OF DAMAGE AND ALGORITHM FOR DETERMINATION
FUNCTIONAL DEPENDENCE OF THE TECHNICAL CONDITION OF BUILDINGS IN TIME 77
- M.N. Kokoev**
EXTENSIVE BUILDING OF HOUSING, ROADS AND BRIDGES AS
A WAY TO MINIMIZE THE DAMAGE FROM SANCTIONS 86
- S-A.Yu. Murtazaev, M.Sh. Salamanova, Yu.I. Koryanova**
DEVELOPMENT OF A POLYMORPHOUS BINDING SYSTEM BASED ON A CARBONATE
ADDITIVE..... 96

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.7

DOI: 10.26200/GSTOU.2023.42.68.001

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ДВУХ ГРУПП УЗЛОВ РЕКОНФИГУРАЦИИ
ДУБЛИРОВАННЫХ ПУТЕЙ НА НАДЕЖНОСТЬ СЕТИ

© В. А. Богатырев, Л. А. Ту, Е. А. Абрамова

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Университет НИУ ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

Одним из преимуществ многопутевой маршрутизации является повышение отказоустойчивости сети. Если один из маршрутов недоступен, данные могут быть направлены по альтернативному маршруту без прерывания сетевого соединения. Это особенно важно для приложений и услуг, где любая задержка или потеря данных может иметь серьезные последствия. В сетях, где несколько путей соединяют две точки между собой, может происходить выбор наилучшего маршрута для передачи данных. В статье ставится и решается задача анализа влияния размещения двух групп узлов реконфигурации на надежность сети с дублированием путей связи с адресатом при вариантности по полноте подключения источников запросов к совокупности имеющихся путей связи. Цель – исследование возможностей повышения надежности многопутевой сети при оптимальном размещении двух групп узлов реконфигурации (переключения сегментов), способных перераспределять трафик между путями, сохранив работоспособность. Предложена модель надежности исследуемой многопутевой сети. Показана возможность повышения структурной надежности сети в зависимости от размещения двух групп узлов реконфигурации на различном удалении от источника запросов. Показано существование оптимального размещения узлов реконфигурации, при котором достигается максимальная надежность связи источников с адресатом, с учетом вариантов их подключения к одному и к двум путям.

Ключевые слова: многопутевая маршрутизация, надежность, резервирование, реконфигурация, сеть, вероятность связанности.

Формат цитирования: Богатырев В. А., Ту Л. А., Абрамова Е. А. Влияние размещения двух групп узлов реконфигурации дублированных путей на надежность сети // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIX, №3 (33). С. 5-14. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.42.68.001

Введение. В настоящее время интенсивно разрабатывается методология построения отказоустойчивых инфокоммуникационных систем высокой готовности при одновременном снижении задержек [1] и обеспечении непрерывности процессов обработки [2] и передачи данных [3] с гарантией своевременности обслуживания запросов [4]. Для оценки надежности инфокоммуникационных систем необходимо учитывать надежность аппаратуры и программного обеспечения, а также использовать средства контроля и восстановления системы [5]. В контексте выбора оптимального маршрута для отправки пакетов в сети, описанной в виде графа, классификаци-

онный мониторинг известных методов может помочь выбрать наиболее подходящий из них [6], учитывая физические, временные и финансовые ограничения. Надежность сети определяется ее способностью сохранять качество связи в заданных условиях эксплуатации [7]. Она зависит от внутренних факторов, таких как случайные отказы оборудования, старение аппаратуры, дефекты технологии или ошибки обслуживающего персонала [8].

Интернет вещей в настоящее время становится одним из основных направлений развития современных инфокоммуникационных систем. Он во многом решает задачи автоматизации и максимального использования ресурсов,

при реализации мониторинга, анализа данных, визуализации, прогнозирования. С помощью Интернета вещей стала возможна разработка более гибких и инновационных продуктов и услуг для потребителей, а также масштабирование бизнеса на международном уровне. Интернет вещей помогает улучшать производительность конечных устройств и обеспечивать их интеграцию с локальными, городскими или глобальными сетями.

Развитие Интернета вещей приводит к появлению новых подходов в построении логической и физической структуры сетей с высокой и сверхвысокой плотностью размещения устройств. Обеспечение эффективной связности в таких сетях требует использования новых протоколов самоорганизации и алгоритмов для управления маршрутизацией. Поскольку в сетях с высокой плотностью устройств имеется чрезвычайно большое количество маршрутов, алгоритмы маршрутизации должны оптимизировать выборы и управление маршрутами, учитывая критерии и метрики производительности. Кроме того, необходимо разработать протоколы реагирования в ситуации сбоев, связанных с проводимыми ремонтными и профилактическими работами на оборудовании сети.

Одним из эффективных методов повышения отказоустойчивости, пропускной способности и надежности связи между источниками запросов и адресатами [10] является совмещение многопутевой маршрутизации, распределения пакетов [11], балансировки нагрузки [12] и реконфигурации сети [13], а также группирование сетевых элементов в кластеры. Источником запросов в сети может быть стационарный ПК, ноутбук, смартфон, планшет и другие мультимедийные устройства. В зависимости от конкретных потребностей и задач, которые необходимо решить, источник запросов в сети может работать в режиме автономного использования или взаимодействовать с другими компонентами сети [14]. Примеры источников запросов в сети могут варьироваться от простых приложений для отправки электронной почты или просмотра веб-страниц до более сложных программных систем, таких

как системы управления контентом, электронная коммерция, электронное банковское дело и мобильные приложения. Источник запросов должен обеспечивать корректность, допустимость и валидность запросов, а также защиту от несанкционированного доступа. Кроме того, важно учитывать допустимую нагрузку на сеть и выбирать оптимальный тип запроса, чтобы минимизировать задержки и потери данных [15]. Обычно источник запросов в сети входит в более крупную инфокоммуникационную систему, которая может включать в себя также устройства и технологии для обработки запросов и управления сетью. Вместе эти компоненты обеспечивают бесперебойную работу системы и высококачественную связь между пользователями и ресурсами сети.

Распределение потоков по возможным путям (маршрутам) связи с адресатами может проводиться от источника запросов, однако в этом случае при накоплении отказов коммутационных узлов и изменении трафика реконфигурации сети требуется ее мониторинг. В ряде случаев более просто реконфигурацию многопутевой сети удастся реализовать в группе коммутационных узлов, позволяющих перераспределять потоки между сегментами путей от группы узлов реконфигурации до адресата. Реконфигурация достигается в результате перераспределения потоков с учетом работоспособности и загруженности сегментов связи с адресатом. Для реконфигурации используется локальная информация об очередях пакетов, передаваемых по различным сегментам путей до адресата. В этом случае для перераспределения потоков для балансировки нагрузки требуется обмен информацией только внутри группы коммутационных узлов, осуществляющих реконфигурацию. Как показано в работе [16] и исследовании [17], месторасположение узлов реконфигурации (переключателей сегментов) существенно влияет на надежность, средние задержки и своевременность доставки критичных к задержкам пакетов адресату.

Увеличение количества участков на маршруте неизбежно приводит к уменьшению скорости передачи данных (следовательно, увеличению времени доставки). В [16] предлагается

метод выбора параметров маршрута для снижения времени доставки данных. Применение многопутевой маршрутизации позволяет решить задачи минимизации времени доставки сообщений и повышения надежности многопутевой сети. Многопутевая передача – имплементация протоколов, которая позволяет передавать данные по нескольким альтернативным маршрутам. За счёт этого трафик разделяется, и доставка пакетов выполняется быстрее. Реализация такого подхода улучшает оперативность передачи данных [18].

Высокие стандарты качества обслуживания и поддержки информационной безопасности положительно влияют на доступность сервисов, необходимых для развития промышленной инфраструктуры.

Для решения имеющихся задач по оптимизации маршрутов можно использовать методы графов, разнообразные алгоритмы поиска (например, алгоритм Дейкстры), модели балансировки потоков и модели раскрытия скрытых источников передачи данных. Для переключения трафика используются различные протоколы и технологии, такие как Spanning Tree Protocol (STP), Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP), Hot Stand by Router Protocol (HSRP) и другие. Переключение сегментов пути также может быть полезно для балансировки нагрузки в сети. Трафик может быть распределен между несколькими путями с помощью алгоритмов балансировки нагрузки, таких как Equal-Cost Multipath (ECMP), что обеспечивает оптимальное использование ресурсов и может повысить пропускную способность сети. Эти технологии обеспечивают резервирование каналов связи и быстрое переключение на альтернативные маршруты в случае их выхода из строя. Применение этих подходов позволяет повысить производительность и обеспечить более эффективное использование сети.

Адаптивная маршрутизация позволяет снизить среднее время доставки пакетов, минимизировать затраты и повысить общую надежность сети.

Для повышения надежности компьютерных сетей необходимо: развивать сложные

компьютерные сети государственного и корпоративного уровней; интегрировать компьютерные сети с сетью общего пользования; обеспечивать высокую доступность и отказоустойчивость компьютерных сетей; разрабатывать и внедрять системы мониторинга и управления компьютерными сетями; внедрять механизмы защиты компьютерных сетей от внешних и внутренних угроз; обучать пользователей и администраторов компьютерных сетей основам информационной безопасности; внедрять современные технологии и стандарты для обеспечения безопасности компьютерных сетей.

Одним из методов повышения надежности инфокоммуникационных сетей является резервирование. Резервирование в инфокоммуникационных сетях подразумевает создание дублирующих элементов или каналов связи, которые могут автоматически включаться в случае отказа основных элементов или каналов. Это позволяет обеспечить непрерывность работы сети и минимизировать время простоя. Часто используемым методом резервирования является протокол VRRP (Virtual Router Redundancy Protocol), который позволяет создавать виртуальные маршрутизаторы, способные обеспечивать резервирование и автоматический переход на резервный маршрут в случае отказа основного маршрутизатора. Резервирование на уровне программного обеспечения использует специальные программные инструменты, которые обнаруживают отказы в работе сети и переключают трафик на резервные каналы связи.

В статье [16] решены задачи оптимизации размещения одной группы узлов реконфигурации переключателей сегментов дублированных путей, исследования дополнены в статье [18].

В настоящей статье ставится задача анализа влияния размещения двух групп узлов реконфигурации на надежность сети с дублированием путей связи с адресатом.

Цель статьи – исследование возможностей повышения надежности многопутевой сети на основе оптимального размещения двух групп узлов реконфигурации (переключения сегментов).

Основные результаты исследования

На рис. 1 изображена структура сети, состоящая из двух путей и включающая источник запросов, коммуникационные узлы и две группы переключателей. На схеме обозначены: n – количество узлов на каждом пути; n_1 – количество узлов от первого узла пути до первого узла переключателя включительно; n_2 – количество узлов от первого узла пути до второго узла реконфигурации (переключателя); p_0 – вероятность работоспособности линии связи между узлами; p_1 – вероятность работоспособности коммуникационного узла; $p_2 = p_1 p_0$; p_3 – вероятность работоспособности узла реконфигурации (узла переключателя сегментов); Λ – интенсивность трафика на передачу данных в сети. Интенсивность трафика измеряется в битах в секунду (bps), килобитах в секунду (kpbs), мегабитах в секунду (Mbps) и т. д. Это показатель, который описывает нагрузку, которая генерируется на сеть в течение определенного времени. Основными факторами, которые влияют на интенсивность трафика, являются объем отправляемых и принимаемых данных, количество пользователей, а также тип и скорость используемой сети.

Схема, поясняющая расчет вероятности связанности с адресатом источника передач, подключенного к одному пути, приведена на рис. 2а, к двум путям – на рис 2б.

Опираясь на приведенную выше схему, рассчитаем надежность сети с многопутевой маршрутизацией. Вычислить вероятность связанности источника, подключенного к одному пути, с адресатом можно при помощи декомпозиции по формуле:

Проанализируем влияние местоположения группы узлов реконфигурации на надежность сети на конкретном примере. Зададим значения следующим переменным: пусть n будет равно 20 узлам, а интенсивности отказов узлов и линий λ_0 и λ_1 равны каждая по 10^{-4} 1/ч. Вероятности безотказной работы p_0, p_1 и p_3 найдем при экспоненциальном распределении времени до отказа. За время между обслуживанием t : $p_0 = \exp(-\lambda_0 t)$, $p_1 = \exp(-\lambda_1 t)$, $p_3 = p_1 = \exp(-\lambda_1 t)$.

Для вычислений использована система компьютерной математики Mathcad 15, которая представляет собой многофункциональный инструмент для проведения сложных математических расчетов и документирования полученных результатов. Это программное обеспечение используется в различных областях, включая науку, инженерное дело, экономику и технику. Mathcad 15 предоставляет широкий спектр возможностей для вычислительных задач и отображения результатов, а также возможность создания отчетов и документации. Одним из главных преимуществ Mathcad 15 является обширная библиотека математических функций и формул. Также доступны различные графические инструменты, позволяющие визуализировать результаты расчетов. Специальное окружение для численных методов и оптимизации, доступное в Mathcad 15, делает ее практически неотъемлемой частью любой инженерной работы. Mathcad 15 может использоваться для расчета сложных процессов и систем, а также для создания отчетов. Особенно важно отметить возможность экспорта документов в различные форматы, что упрощает обмен информацией с другими пользователями. Mathcad 15 – это программное обеспечение, полностью платформонезависимое, что обеспечивает его использование на разных операционных системах, таких как Windows, Linux или Mac OS. Оно также поддерживает различные языки программирования, такие как C++, Fortran и MATLAB, что позволяет пользователям использовать программу на наиболее подходящем для них языке. В итоге Mathcad 15 – это высококлассный инструмент, который обеспечивает решение самых сложных математических задач и удобное документирование результатов.

На рис. 3 представлен график, отображающий влияние числа узлов n_1 и n_2 на вероятность связанности источника с адресатом при подключении к двум путям при $t = 24$ ч. Из рисунка видно, что существование максимума надежности от расположения двух групп переключателей магистралей достигается для приведенного примера при значениях $n_1=7$ и $n_2=$

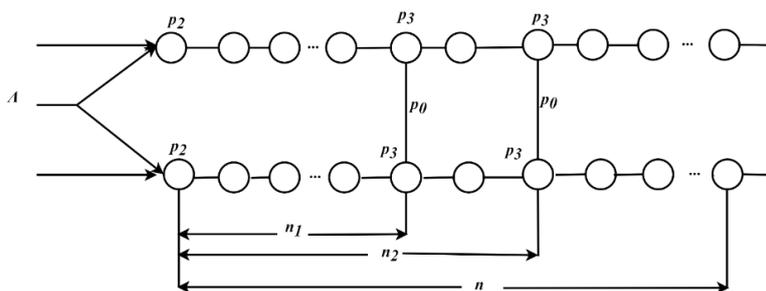


Рис. 1. Структура реконфигурируемой сети при использовании двух групп узлов реконфигурации

а

$$P_1 = p_3^4 \left\{ p_0^2 \left[\begin{array}{c} \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \\ | \quad | \\ \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \end{array} \right] + p_0(1-p_0) \left[\begin{array}{c} \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \\ | \quad | \\ \text{---} \circ \text{---} \end{array} \right] + (1-p_0)^2 \left[\begin{array}{c} \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \\ | \quad | \\ \text{---} \circ \text{---} \end{array} \right] \right\} + \\ + p_3^3(1-p_3) \left\{ p_0 \left[\begin{array}{c} \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \\ | \quad | \\ \text{---} \circ \text{---} \end{array} \right] + p_0 \left[\begin{array}{c} \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \\ | \quad | \\ \text{---} \circ \text{---} \end{array} \right] + 2(1-p_0) \left[\begin{array}{c} \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \\ | \quad | \\ \text{---} \circ \text{---} \end{array} \right] \right\} + p_3^2(1-p_3)^2 \left[\begin{array}{c} \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \\ | \quad | \\ \text{---} \circ \text{---} \end{array} \right]$$

б

$$P_2 = p_3^4 \left\{ p_0^2 \left[\begin{array}{c} \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \\ | \quad | \\ \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \end{array} \right] + p_0(1-p_0) \left[\begin{array}{c} \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \\ | \quad | \\ \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \end{array} \right] + (1-p_0)^2 \left[\begin{array}{c} \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \\ | \quad | \\ \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \end{array} \right] \right\} + \\ + 2p_3^3(1-p_3) \left\{ p_0 \left[\begin{array}{c} \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \\ | \quad | \\ \text{---} \circ \text{---} \end{array} \right] + p_0 \left[\begin{array}{c} \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \\ | \quad | \\ \text{---} \circ \text{---} \end{array} \right] + 2(1-p_0) \left[\begin{array}{c} \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \\ | \quad | \\ \text{---} \circ \text{---} \end{array} \right] \right\} + 2p_3^2(1-p_3)^2 \left[\begin{array}{c} \text{---} \circ \text{---} \circ \text{---} \\ | \quad | \\ \text{---} \circ \text{---} \end{array} \right]$$

Рис. 2. Схема расчета вероятности связанности с адресатом при подключении источника запросов к одному (а) и двум путям (б)

$$P_1 = p_3^4 (p_0^2 p_2^{n_1} (1 - (1 - p_2^{(n_2 - n_1)})^2) (1 - (1 - p_2^{(n - n_2)})^2) + \\ + p_0(1 - p_0) ((1 - (1 - p_2^{n_2})^2) (1 - (1 - p_2^{(n - n_2)})^2) + p_2^{n_1} (1 - (1 - p_2^{(n - n_1)})^2))) + \\ + (1 - p_0)^2 p_2^n) + p_3^3(1 - p_3) (p_0 p_2^{n_2} (1 - (1 - p_2^{(n - n_2)})^2) + p_0 p_2^n + \\ + 2(1 - p_0) p_2^n) + p_3^2(1 - p_3)^2 p_2^n$$

Вероятность связанности с адресатом источника, подключенного к двум путям, можно найти следующим образом:

$$P_2 = p_3^4 (p_0^2 (1 - (1 - p_2^{n_1})^2) (1 - (1 - p_2^{(n_2 - n_1)})^2) (1 - (1 - p_2^{(n - n_2)})^2) + \\ + p_0(1 - p_0) ((1 - (1 - p_2^{n_2})^2) (1 - (1 - p_2^{(n - n_2)})^2) + \\ + (1 - (1 - p_2^{n_1})^2) (1 - (1 - p_2^{(n - n_1)})^2))) + (1 - p_0)^2 (1 - (1 - p_2^n)^2)) + \\ + 2p_3^3(1 - p_3) (p_0 p_2^{n_2} (1 - (1 - p_2^{(n - n_2)})^2) + p_0 p_2^{(n - n_1)} (1 - (1 - p_2^{n_1})^2) + \\ + 2(1 - p_0) p_2^n) + 2p_3^2(1 - p_3)^2 p_2^n$$

13 узлов. Вероятность связанности источника и приемника при этом составляет 0.996.

Для случая подключения источника запросов только к одному из путей передачи данных зависимость вероятности связанности сети от числа узлов n_1 и n_2 показана на рис 4.

Из рисунка 4 видно, что существование максимума вероятности связанности узла источника запросов с адресатом достигается для приведенного примера при значениях $n_1=1$ и $n_2=10$ узлов. Вероятность связанности источника и приемника при этом составляет 0.986.

На рис. 5 представлена зависимость вероятности работоспособности сети при подключении к 2 путям от числа узлов n_1 . Кривые 1-6

соответствуют значениям n_1 , равным 13, 10, 18, 20, 5, 1 узлам соответственно.

Аналогично рис. 6 иллюстрирует расчеты для случая подключения источника к одному пути. Кривые 1-3 соответствуют значениям n_2 , равным 1; 2; 3. Расчеты доказывают необходимость расположения первой группы узлов реконфигурации как можно ближе к источнику запросов.

Заключение

Оценка надежности инфокоммуникационных систем включает в себя статистические методы, методы моделирования и симуляции, аналитические и экспертные оценки. Каждый из этих методов имеет как свои преимущества,

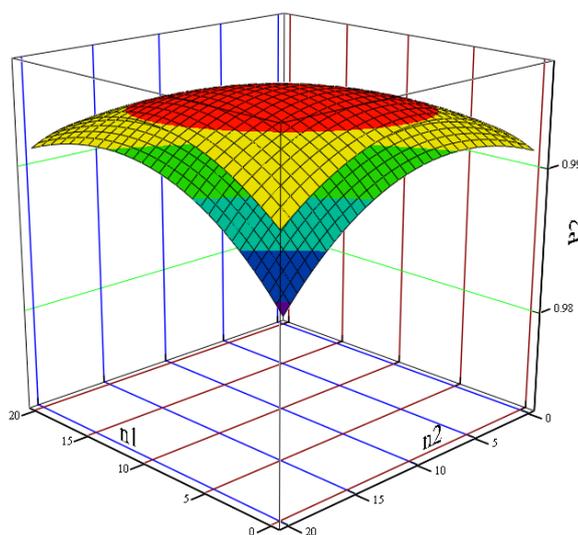


Рис. 3. Зависимость вероятности связанности источника с адресатом от числа узлов до узлов реконфигурации n_1 и n_2 при подключении к двум путям

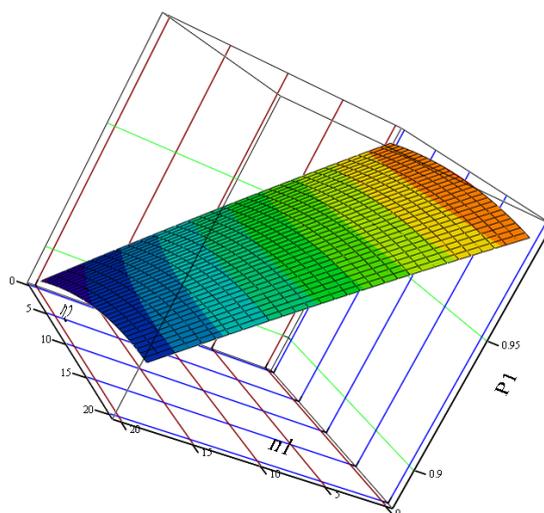


Рис. 4. Вероятность связанности источника с адресатом при подключении к одному пути от числа узлов до переключателей n_1 и n_2

так и ограничения, поэтому выбор зависит от конкретной ситуации. Повышение надежности системы может быть достигнуто путем использования избыточности, резервирования, репликации данных, установки резервных источников питания и других технических решений. Важно обеспечить регулярное обслуживание и техническую поддержку системы, чтобы своевременно выявлять и устранять возможные проблемы. В целом обеспечение надежности инфокоммуникационных систем является сложной задачей, требующей ком-

плексного подхода и учета различных факторов. Правильный выбор методов оценки и повышения надежности, а также использование соответствующих технических решений позволяют создать стабильную и надежную сеть передачи данных.

В статье предложена модель надежности многопутевой сети, включающая две группы узлов реконфигурации, осуществляющих перераспределение потоков через работоспособные сегменты сети. Показана возможность повышения структурной надежности сети в за-

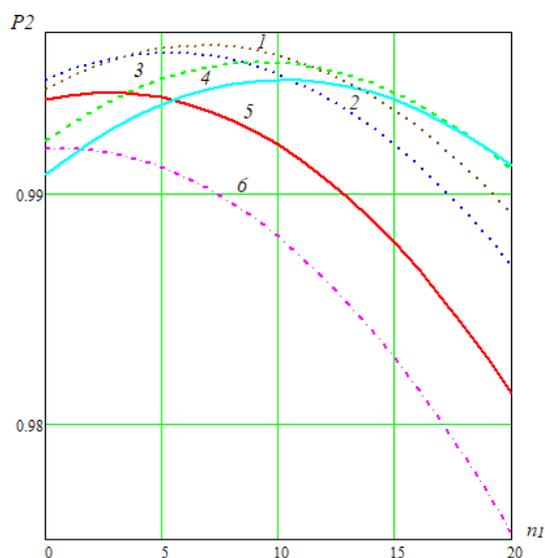


Рис. 5. Зависимость вероятности работоспособности сети от числа узлов n_1 при подключении к двум путям

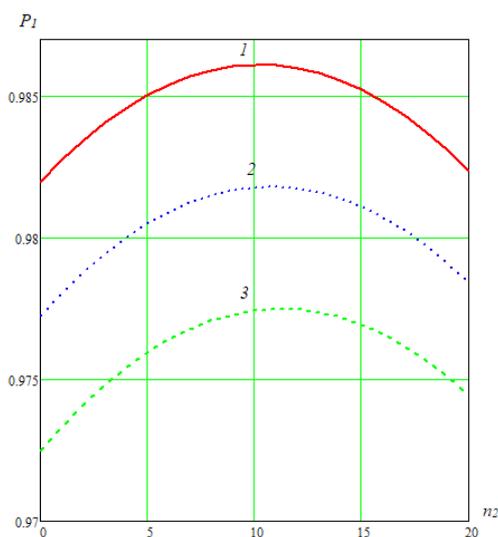


Рис. 6. Вероятность связанности источника с адресатом в зависимости от числа узлов n_2 при подключении к одному пути

висимости от размещения двух групп узлов реконфигурации на различном удалении от источника запросов. Расчеты показали существование наилучшего варианта размещения узлов реконфигурации, при котором достигается максимальная надежность связи с адресатом источников, подключенных к одному и к двум путям.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Sachs J., Wikström G., Dudda T., Baldemair R., Kittichokechai K.* 5G Radio Network Design for Ultra-Reliable Low – Latency Communication // IEEE Netw. 2018. Т. 32. Pp. 24-31.
2. *Павлов А. А., Датьев И. О.* Протоколы маршрутизации в беспроводных сетях // Труды Кольского научного центра РАН. 2014. № 5 (24).
3. *Kurose J.F., Ross K.W.* Computer networking: A top-down approach edition // Addison Wesley. 2007.
4. *Makarov S.V., Ostanin V.V., Vaitkov I.V.* The comparison of routers by Firms Cisco, Juniper and Huawei // Modern Applied Science. 2014. Т. 8. № 6. P. 313.
5. *Sahay R., Meng W., Jensen C.D.* The application of Software Defined Networking on securing computer networks: A survey // Journal of Network and Computer Applications. 2019. Т. 131. Pp. 89-108.
6. *Копысов С. П., Новиков А. К., Рычков В. Н.* Алгоритмы динамической балансировки вычислительной нагрузки и их реализации // Труды Математического центра им. Н. И. Лобачевского. Казань, 2013. Т. 48. С. 20.
7. *Татарникова Т. М., Елизаров М. А.* Имитационная модель виртуального канала // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 6. С. 1120-1127.
8. *Богатырев В. А., Богатырев А. В., Богатырев С. В.* Перераспределение запросов между вычислительными кластерами при их деградации // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 9. С. 54-58.
9. *Пашаев М. Я., Дадаев А. И., Хашиумов И. У., Занаева З. С.* Аспекты конфиденциальности и безопасности технологии 5G // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. ТОМ XIV. № 1 (31). С. 16-27.
10. *Хаджиева Л. К., Хаджиев М. Р., Хашиумов И. У.* Перспективы внедрения технологии 5G и взаимодействие с системой «УМНЫЙ ДОМ» // Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XVII. № 4 (26). Грозный, 2021.
11. *Krishna P., Lavanya A., Kumar R. & Rahull P.* Implementation of weighted round robin load balancing algorithm for gRPC. 2022.
12. *Johansson A.* HTTP Load Balancing Performance Evaluation of HAProxy, NGINX, Traffic and Envoy with the Round-Robin Algorithm. 2022.
13. *Татарникова Т. М., Кутузов О. И.* Модели дифференцированного обслуживания трафика // Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник статей Санкт-Петербургской международной и межрегиональной конференции. 2018. С. 112-115.
14. *Астахова Т. Н., Верзун Н. А., Касаткин В. В., Колбанев М. О., Шамин А. А.* Исследование моделей связности сенсорных сетей // Информационно-управляющие системы. 2019. № 5 (102). С. 38-50.
15. *Степанов Н. В., Тюрликов А. М., Бегиев В. О.* Метод анализа вероятностных характеристик обслуживания пачечного трафика в системах NB-IoT // Электросвязь. 2022. № 6. С. 8-15.
16. *Богатырев В. А., Ле А. Т., Абрамова Е. А.* Перераспределение потоков сети с многопутевой маршрутизацией // Автоматизация процессов управления. 2022. № 4 (70). С. 141-149.
17. *Bogatyrev V.A., Le A. T., Abramova E. A.* Structural reliability of a multipath routing network with reconfigurations when switching routes // 2022 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). 2022. Pp. 414-418.
18. *Tu L. A., Bogatyrev V.A., Abramova E. A.* Reliability of a Reconfigurable Network with Segment Switching // 2023 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, Russian Federation. 2023. Pp. 1-4.

NETWORK RELIABILITY WITH PLACING TWO GROUPS OF NODES OF RECONFIGURATION OF DUPLICATED PATHS

© V. A. Bogatyrev, L. A. Tu, E. A. Abramova
 Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
 Reserch University ITMO, Saint Petersburg, Russia

One of the benefits of multipath routing is the increased resiliency of the network. If one of the routes is unavailable, data can be routed to an alternative route without interrupting the network connection. This is especially important for applications and services where any delay or loss of data can have serious consequences. In networks where several paths connect two points together, the best route for data transmission can be selected. The article poses and solves the problem of analyzing the influence of the placement of two groups of reconfiguration nodes on the reliability of a network with duplication of communication paths with the addressee, with variance in terms of full availability of connecting request sources to a set of available communication paths. The goal is to study the possibilities of increasing the reliability of a multipath network with the optimal placement of two groups of reconfiguration nodes (segment switching) capable of redistributing traffic between paths that have retained their operability. A reliability model of the studied multipath network is proposed. The possibility of increasing the structural reliability of the network is shown depending on the placement of two groups of reconfiguration nodes at different distances from the source of requests. The existence of an optimal placement of reconfiguration nodes is shown, in which the maximum reliability of the connection between sources and the destination is achieved, taking into account the options for their connection to one and two paths.

Keywords: multipath routing, reliability, redundancy, reconfiguration, network, connectivity probability.

REFERENCES

1. Sachs, J., Wikström, G., Dudda, T., Baldemair, R. and Kittichokechai, K. (2018). '5G Radio Network Design for Ultra-Reliable Low – Latency Communication'. *IEEE Netw.* V. 32. Pp. 24-31.
2. Pavlov A.A. and Dat'yev I. O. (2014). 'Routing protocols in wireless networks. *Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* №5 (24).
3. Kurose J. F. and Ross K. W. (2007). *Computer networking: A top-down approach edition.* Addison Wesley.
4. Makarov S. V., Ostanin V. V. and Vaitkov I. V. (2014). 'The comparison of routers by Firms Cisco, Juniper and Huawei'. *Modern Applied Science.* V. 8. №6. P. 313.
5. Sahay, R., Meng, W. and Jensen, C. D. (2019). 'The application of Software Defined Networking on securing computer networks: A survey'. *Journal of Network and Computer Applications.* V. 131. Pp. 89-108.
6. Kopysov, S. P., Novikov, A. K. and Rychkov, V. N. (2013). 'Algorithms for dynamic balancing of computational load and their implementation'. *Proceedings of the Mathematical Center named after N.I. Lobachevsky.* Kazan. V. 48, pp. 20.
7. Tatarnikova, T. M., Yelizarov, M. A. (2016). 'Simulation model of a virtual channel'. *Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics.* V. 16. №6, pp. 1120-1127.
8. Bogatyrev, V. A., Bogatyrev, A. V. and Bogatyrev, S. V. (2014). 'Redistribution of requests between computing clusters during their degradation'. *News of higher educational institutions. Instrumentation.* V. 57. №9, pp. 54-58.
9. Pashayev, M. YA., Dadayev, A. I., Khashumov, I. U. and Zanayeva, Z. S. (2023). 'Aspects of confidentiality and security of 5G technology. Herald of GSTOU. Technical sciences. V. XIV.

- № 1 (31), pp. 16-27.
10. Khadzhieva, L. K., Khadzhiev, M. R. and Khashumov, I. U. (2021). 'Prospects for the implementation of 5G technology and interaction with the "SMART HOUSE" system. Herald of GSTOU. Technical sciences. V. XVII, № 4 (26).
 11. Krishna, P., Lavanya, A., Kumar, R. & Rahull, P. (2022). *Implementation of weighted round robin load balancing algorithm for grpc.*
 12. Johansson, A. (2022). *HTTP Load Balancing Performance Evaluation of HAProxy, NGINX, Traffic and Envoy with the Round-Robin Algorithm.*
 13. Tatarnikova, T. M. and Kutuzov, O. I. (2018). 'Models of differentiated traffic service. In the collection: Regional informatics and information security'. *Collection of articles of the St. Petersburg international and interregional conferences.* Pp. 112-115.
 14. Astakhova, T. N., Verzun, N. A., Kasatkin, V. V., Kolbanev, M. O. and Shamin, A. A. (2019). 'Study of connectivity models of sensor networks'. *Information and control systems.* № 5 (102). Pp. 38-50.
 15. Stepanov, N. V., Tyurlikov, A. M. and Begishev, V. O. (2022). 'A method for analyzing the probabilistic characteristics of servicing burst traffic in NB-IOT systems'. *Telecommunications.* № 6. Pp. 8-15.
 16. Bogatyrev, V. A., Le, A. T. and Abramova, Ye. A. (2022). 'Pereraspredeleniye potokov seti s mnogoputevoy marshrutizatsiyey'. *Avtomatizatsiya protsessov upravleniya.* № 4 (70). Pp. 141-149.
 17. Bogatyrev, V. A., Le, A. T. and Abramova, E. A. (2022). 'Structural reliability of a multipath routing network with reconfigurations when switching routes'. *International Russian Automation Conference (RusAutoCon).* Pp. 414-418.
 18. Tu, L. A., Bogatyrev, V. A. and Abramova, E. A. (2023). 'Reliability of a Reconfigurable Network with Segment Switching'. *Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF).* Pp. 1-4.

БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ И НЕКОТОРЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

© Н. А. Моисеенко, М. М. Цуев, Э. Х. Саратова
ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

Объем обмена большими данными в сети увеличивается с каждым днем. Анализ данных – это постоянно развивающаяся область, в которой регулярно разрабатываются новые технологии и методы. Отслеживание темпов этих обновлений имеет решающее значение для того, чтобы компании и частные лица имели в своем распоряжении инструменты, необходимые им для принятия обоснованных решений.

В данной статье рассмотрены некоторые возможности и применение больших данных в том числе и в медицине, проанализирован эксперимент, для предсказания целевой переменной использовались различные модели машинного обучения, такие как логистическая регрессия, случайный лес, метод опорных векторов и наивный Байес. Даны сравнительные характеристики результативности использованных моделей на предмет эффективности решения поставленной задачи на основе выборки данных, подведены итоги и сделаны соответствующие выводы. Рассмотрены варианты, какие признаки наиболее существенно будут играть роль при построении моделей. Статья раскрывает возможности применения методов аналитики больших данных и ее значимость в современном мире медицины для создания здоровьесберегающих условий.

Ключевые слова: большие данные, анализ данных, машинное обучение, искусственный интеллект, нейронные сети, алгоритмы машинного обучения, глубокое обучение, метод «опорных векторов», метод «наивного Байеса», метод «случайного леса».

Форма цитирования: Моисеенко Н. А., Цуев М. М., Саратова Э. Х. Большие данные и некоторые возможности их применения // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том №3 (33), С.15-23. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.65.74.002

Концепция больших данных возникла из-за необходимости понимать тенденции, предпочтения и закономерности в огромной базе данных, создаваемой при взаимодействии людей с различными системами и друг с другом. В сущности, большие данные – это совокупность всех процессов и инструментов, связанных использованием больших наборов данных и управлением ими. Источники больших данных очень широки, включая любое место и все, что мы можем отслеживать в цифровом виде [1]. Метеорологические спутники, устройства Интернета вещей, дорожные камеры и динамика социальных сетей – вот лишь некоторые из источников данных, которые мы используем в настоящее время. Добывая и анализируя эти данные, компании могут повысить свою устойчивость и конкурентоспособность [8].

Сам термин «Большие данные» используется с начала 1990-х годов. Хотя точно не из-

вестно, кто первым использовал этот термин, большинство людей отдают должное Джону Р. за популяризацию термина. Большие данные в настоящее время являются хорошо зарекомендовавшей себя областью знаний как в академических кругах, так и в промышленности.

Чтобы лучше понять, как большие данные смогли достичь такой популярности, важно рассматривать большие данные в их исторической перспективе. С точки зрения области знаний, большие данные представляют собой сочетание очень зрелой области статистики с относительно молодой областью компьютерных наук [2]. Как таковые, они опираются на коллективные знания математики, статистики и методов анализа данных в целом.

Большинство методов, которые используются сегодня (от алгоритмов прогнозирования до методов классификации), были разработаны столетия назад. Ключевым аспектом, который

изменился, конечно же является наличие и доступность к огромным объемам данных. Если до 1950-х годов большая часть анализа данных выполнялась вручную и на бумаге, то теперь у нас есть технология и возможности анализировать терабайты данных за доли секунды [9].

Наука о данных – это комплексный процесс сопоставления огромных массивов данных, управления ими и получения аналитических данных для нескольких продуктивных целей. Область науки о данных постоянно развивается, чтобы идти в ногу с меняющимися технологиями и бизнес-практиками.

По мере того, как вычислительная мощь произвела революцию в способности собирать, хранить и манипулировать все большими объемами данных, область статистики превратилась в то, что мы знаем сегодня как науку о данных.

Хотя многие группы, организации и эксперты по-разному подходят к анализу данных, большинство из них можно свести к единому определению, которое подходит всем. Анализ данных – это процесс очистки, изменения и обработки необработанных данных и извлечения полезной информации, которая помогает компаниям принимать обоснованные решения. Процедура помогает уменьшить риски, характерные принятию решений, предоставляя полезную информацию и статистические данные, которые часто представляются в виде диаграмм, изображений, таблиц и графиков [3].

Простой пример анализа данных можно увидеть всякий раз, когда мы принимаем решение в нашей повседневной жизни, оценивая то, что произошло в прошлом или что произойдет, если мы примем это решение. По сути, это процесс анализа прошлого или будущего и принятия решения на основе этого анализа [4]. В современном цифровом мире способность принимать решения, основанные на данных, и разрабатывать стратегию на основе анализа имеет центральное значение для успешного лидерства в любой отрасли [10].

Анализ данных – это постоянно развивающаяся область, в которой регулярно разрабатываются новые технологии и методы. Отслеживание темпов этих обновлений имеет

решающее значение для того, чтобы компании и частные лица имели в своем распоряжении инструменты, необходимые им для принятия обоснованных решений.

Искусственный интеллект – это способность машины выполнять когнитивные функции, которые мы ассоциируем с человеческим разумом, такие как восприятие, рассуждение, обучение, взаимодействие с окружающей средой, решение проблем и даже проявление креативности. Системы искусственного интеллекта способны в определенной степени адаптировать свое поведение, анализируя последствия предыдущих действий и работая автономно. Некоторые технологии искусственного интеллекта существуют уже более 50 лет, но прогресс в вычислительной мощности, доступность огромных объемов данных и новых алгоритмов привели к крупным прорывам в области искусственного интеллекта в последние годы [11].

Наука о данных сегодня доминирует в большинстве отраслей, поскольку большинство из них работают на основе данных [5]. Она произвела революцию в том, как данные воспринимаются различными отраслями. Многообразное распространение больших данных во всех сферах жизни, от торговли до транспорта, заставляет нас осознать, насколько они незаменимы в нашей повседневной жизни. Точно так же большие данные трансформировали медицинский сектор, коренным образом меняя то, как выполняются самые базовые процедуры мониторинга состояния здоровья, а также формируя и отображая неструктурированную информацию.

В настоящее время болезни можно предсказать на самой ранней стадии с помощью науки о данных в здравоохранении, то есть дистанционно, с помощью инновационных устройств, основанных на машинном обучении. Мобильные приложения и интеллектуальные устройства постоянно собирают данные о частоте сердцебиения, кровяном давлении, уровне сахара и так далее, передавая эти данные врачам в режиме реального времени, которые затем могут соответствующим образом разработать методы лечения.

Здравоохранение переполнено ценными данными. Каждый пациент, тест, сканирование, диагноз, план лечения, медицинское исследование, рецепт и конечный результат для здоровья дают данные, которые могут помочь улучшить качество оказания медицинской помощи в будущем. Как правило, большой объем данных называют «большими данными», и именно в этих данных большого объема заключаются некоторые из самых больших возможных достижений в области здравоохранения [6]. Специалисты по обработке данных, работающие в здравоохранении, используют большие данные для различных применений, от простого улучшения качества обслуживания пациентов до создания сложных моделей машинного обучения, способных диагностировать заболевания с помощью рентгеновского сканирования. Для достижения этих целей специалисты по обработке данных используют аналитику для эффективного управления большими данными и их анализа с целью получения информации, выявления закономерностей и тенденций и руководства процессом принятия решений [12].

Алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ), в частности глубокого обучения, продемонстрировали значительный прогресс в задачах распознавания изображений. Методы, варьирующиеся от сверточных нейронных сетей до вариационных автокодиров, нашли множество применений в области анализа медицинских изображений, продвигая ее вперед быстрыми темпами. Исторически сложилось так, что в радиологической практике подготовленные врачи визуально оценивали медицинские изображения для выявления, характеристики и мониторинга заболеваний. Методы искусственного интеллекта хороши в автоматическом распознавании сложных закономерностей в данных визуализации [7].

Искусственный интеллект революционизирует сектор радиологии, делая его более эффективным и точным. Например, искусственный интеллект оказывает влияние на визуализацию онкологических заболеваний. Рак легких является одной из наиболее распространенных и тяжелых опухолей при визуализации органов

грудной клетки. Искусственный интеллект может помочь в распознавании и классификации этих узелков как доброкачественных или раковых. Одной из областей искусственного интеллекта, используемых в радиологии, является компьютерное зрение.

Системы компьютерного зрения могут анализировать медицинские изображения, такие как компьютерная томография, рентген, магнитно-резонансная томография, маммограммы и т.д., с большей точностью и скоростью. Это может улучшить, например, диагностику рака путем выявления раковых образований, не видимых человеческому глазу, или скрининг ретинопатии у диабетиков для предотвращения слепоты [13].

Персонализированная медицина, иногда называемая точной медициной, – это процесс адаптации медицинских решений и вмешательств к отдельному человеку. Речь идет об отходе от универсального подхода, и вместо этого используется подбор индивидуальных методов лечения. Персонализированная медицина тесно связана с наукой о данных и зависит от нее, в частности от машинного обучения.

За последнее десятилетие появление приложений машинного обучения (ML) привело к значительному прогрессу в области внедрения персонализированных медицинских подходов для улучшения медицинского обслуживания благодаря исключительной производительности моделей ML при использовании сложных больших данных.

Электронная медицинская карта пациента (EHR), содержащая как структурированные, так и неструктурированные данные, является источником больших данных. Она содержит информацию, относящуюся к социально-демографическим, медицинским состояниям, генетике и методам лечения. Методы больших данных помогают в разработке компьютерных моделей, которые помогают клиницисту систематизировать данные, распознавать закономерности, интерпретировать результаты и устанавливать пороговые значения для действий.

Быстрое и точное прогнозирование свойств молекул важно для продвижения научных от-

крытий и их применения в самых разных областях – от материаловедения до фармацевтики. Поскольку эксперименты и моделирование для изучения потенциальных вариантов отнимают много времени и являются дорогостоящими, ученые исследовали использование методов машинного обучения (ML) для помощи в исследованиях вычислительной химии. Алгоритмы ML используются для разработки различных моделей для прогнозирования химических, биологических и физических характеристик соединений.

Машинное обучение может быть включено на всех этапах процесса открытия лекарства. Например, алгоритмы ML были использованы для поиска нового применения лекарств, прогнозирования лекарственно-белкового взаимодействия, определения эффективности лекарств, определения биомаркеров безопасности и оптимизации биологической активности молекул. Алгоритмы, которые широко использовались при поиске лекарств: Случайный лес (RF), наивный Байес (NB) и машина опорных векторов (SVM), а также другие методы.

Чтобы обучить свою модель, исследователи вводят полную молекулярную структуру и набор строительных блоков и химических реакций, и модель учится создавать дерево, которое синтезирует молекулу. Просмотрев сотни тысяч примеров, модель учится самостоятельно находить эти синтетические пути. Для анализа будут использованы открытые данные из источников о сердечных приступах.

Набор данных о сердечных приступах был

собран в больнице Чжеен в Эрбиле, Ирак, с января 2019 года по май 2019 года. Атрибутами этого набора данных являются: возраст, пол, частота сердечных сокращений, систолическое артериальное давление, диастолическое артериальное давление, уровень сахара в крови, креатиназа МВ (СК-МВ) и тропонин с отрицательным или положительным выходом.

Согласно предоставленной информации, медицинский набор данных классифицирует либо сердечный приступ, либо его отсутствие. Столбец «Пол» в данных нормализован: для мужчины установлено значение 1, а для женщины – 0. Что касается выходных данных, положительное значение равно 1, а отрицательное – 0 [14]. Анализ данных осуществлялся с помощью языка программирования Python в Jupyter Notebook.

При запуске Jupyter для реализации нашего проекта воспользуемся возможностью создания нового блокнота (рис. 1).

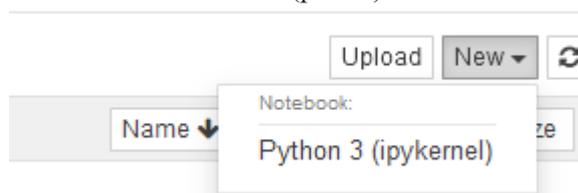


Рис. 1. Создание нового блокнота

Для начала импортируем все необходимые библиотеки и модели для работы (рис. 2, 3). Загрузка в систему нового набора данных, используя библиотеку pandas, завершается сохранением их в переменную `heart_attack_df` (рис. 2).

```
heart_attack_df = pd.read_csv('Medicaldataset.csv')
```

Рис. 2. Импорт данных

```
heart_attack_df.head()
```

| | Age | Gender | Heart rate | Systolic blood pressure | Diastolic blood pressure | Blood sugar | CK-MB | Troponin | Result |
|---|-----|--------|------------|-------------------------|--------------------------|-------------|-------|----------|----------|
| 0 | 64 | 1 | 66 | 160 | 83 | 160.0 | 1.80 | 0.012 | negative |
| 1 | 21 | 1 | 94 | 98 | 46 | 296.0 | 6.75 | 1.060 | positive |
| 2 | 55 | 1 | 64 | 160 | 77 | 270.0 | 1.99 | 0.003 | negative |
| 3 | 64 | 1 | 70 | 120 | 55 | 270.0 | 13.87 | 0.122 | positive |
| 4 | 55 | 1 | 64 | 112 | 65 | 300.0 | 1.08 | 0.003 | negative |

Рис. 3. Первые пять строк таблицы

Рассматривая исходные данные, осуществляется вывод некоторого фиксированного числа строк в имеющейся нашей табличной базе (для эксперимента использовались первые пять строк) (рис. 3).

Прежде чем перейти к анализу данных, сделаем их обработку. Первым делом с помощью метода `rename` изменим регистр названий столбцов, а также заменим пробелы между словами нижним подчеркиванием. Это необходимо для удобной работы с данными при обращении к названиям колонок. Необходимо на следующем этапе проверить, содержат ли наши данные пустые значения и дубликаты, поскольку их присутствие может негативно влиять на работу моделей. В нашем же случае NULL значений и дубликатов не наблюдается.

Переход непосредственно к анализу отобранных данных осуществляется по критериям – сколько людей перенесли сердечный приступ в сравнении с теми, у кого его не было. Для этого будем использовать библиотеку `seaborn`, а именно график `countplot` (рис. 4).

По графику видно, что целевая переменная слабо коррелирует с возрастом, трипонином и креатинкиназа MB (ck-mb). Графическая интерпретация данных показывает, что сильного дисбаланса класса не наблюдается. Это хорошо, так как дисбаланс сильно влияет на качество модели. Модель может иметь точность более 80%, но это не будет говорить о ее надежности.

Используя график `pairplot`, посмотрим, как каждый из признаков коррелирует друг с другом (рис. 5). Видим, что взаимосвязь на-

блюдается только у систолического и диастолического давлений. На этом графике также можно посмотреть распределение каждого из признаков.

Рассмотрим отдельно эту взаимосвязь, используя библиотеку график `scatterplot` (рис. 6). На графике видно, что чем выше систолическое давление, тем выше и диастолическое.

Построим тепловую карту с помощью `heatmap`, чтобы рассмотреть взаимосвязь между признаками и целевой переменной. Целевая переменная – это столбец `result`, который показывает, был ли сердечный приступ у пациента или нет. Рассмотрим распределение возраста при помощи графика `hist` (рис. 7). Средний возраст пациентов составляет около 60 лет.

Если данный анализ продублировать для сравнения на основе методов «опорных векторов» и «наивного Байеса», а также «случайного леса», то это даст возможность дать оценку точности и надежности рассматриваемых моделей. Сравнительная характеристика точности всех наших моделей представлена на рис. 7.

Из представленной диаграммы можно сделать вывод, что лучше всего с задачей справляется метод «случайный лес».

Поскольку мы не можем судить о качестве модели только по одной точности, рассмотрим именно значение `recall` для каждой из моделей. Так как мы работаем с медицинскими данными, нам важна именно эта метрика, а не `precision`, поскольку она оценивает, насколько точно наш метод определил объекты положительного класса.

```
sns.countplot(x = heart_attack_df.result.map({0 : 'нет', 1 : 'да'}), palette=['mediumspringgreen', 'tomato'])
plt.xlabel('сердечный приступ')
plt.ylabel('количество');
```

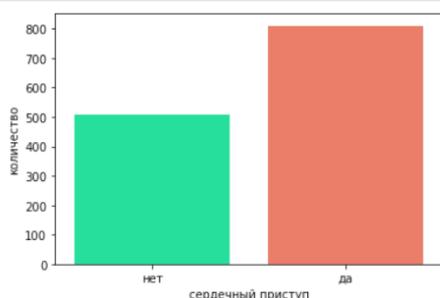


Рис. 4. Отсутствие/наличие сердечного приступа

Выводы. Исходя из кратко изложенного анализа выполненного эксперимента, можно сделать предположение, что из использованных моделей лучше всего справляется с поставленной задачей на наших данных «случайный лес».

О данных: У большинства пациентов в наших данных был сердечный приступ. Их количество составляет около 60%. Средний возраст пациентов – 60 лет.

Результаты анализа: на основе графической интерпретации корреляции можно сделать заключение о том, что больше всего на наличие/отсутствие сердечного приступа влияют тропонин, возраст и креатинкиназа МВ. Но взаимосвязь между целевой переменной и перечисленными признаками довольно слабая. Тем не менее, именно эти признаки будут играть большую роль при построении модели.

Предсказательная модель: для предсказания целевой переменной использовались раз-

личные модели машинного обучения, такие как «логистическая регрессия», «случайный лес», «метод опорных векторов» и «наивный Байес». Лучше всего себя показал «случайный лес» (random forest). Точность данных составила 98%, ошибочно идентифицировано 8 человек.

В заключение можно отметить, что применение методов аналитики больших данных является чрезвычайно важным в современном мире, поскольку они играют ключевую роль в решении самых актуальных проблем и создании новых возможностей. Big Data продолжает развиваться, а с ним растет и его влияние на различные аспекты общества. От области здравоохранения до финансов, от образования до правительственных организаций, применение больших данных открывают новые возможности для открытия знаний и улучшения жизни людей.

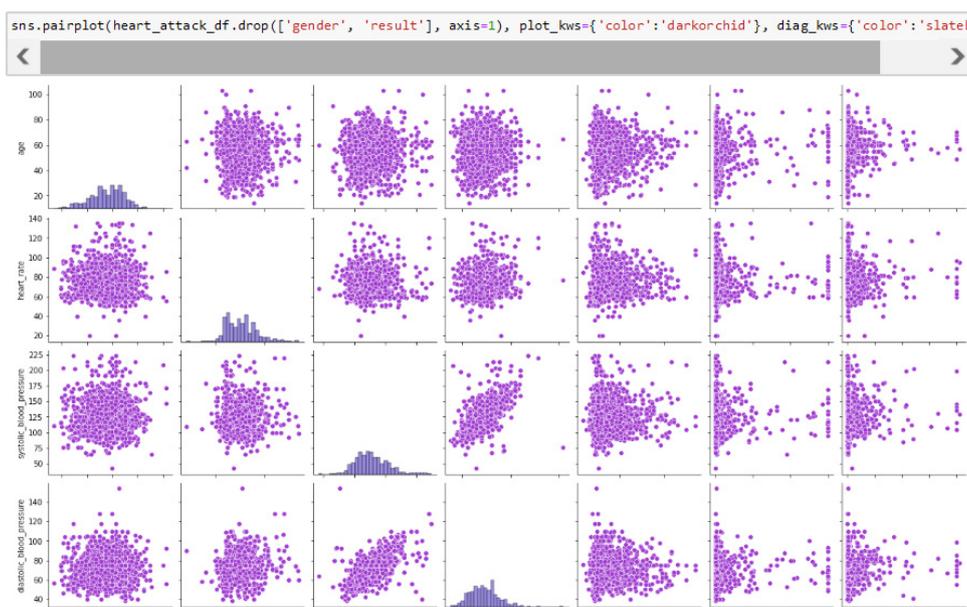


Рис. 5. Корреляция между признаками

```
sns.scatterplot(x=heart_attack_df.systolic_blood_pressure, y=heart_attack_df.diastolic_blood_pressure, color='indianred')
plt.xlabel('систолическое артериальное давление')
plt.ylabel('диастолическое артериальное давление');
```

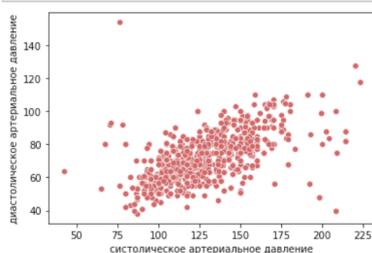


Рис. 6. Корреляция между систолическим и диастолическим давлением

```
sns.histplot(heart_attack_df.age, color='khaki')
plt.xlabel('возраст')
plt.ylabel('количество');
```

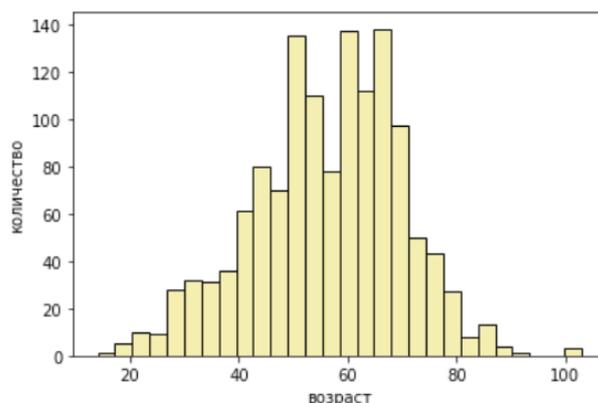


Рис. 7. Распределение возраста

Происходят значительные изменения в области больших данных, в частности появление новых алгоритмов машинного обучения, искусственного интеллекта и облачных решений для хранения данных. Эти инновации открывают возможности для более эффективной обработки и анализа больших данных, что дает компаниям возможность получать новые стратегические преимущества.

Анализ больших данных – это новое направление формирования «умных» больших данных. Естественно, возникает параллельная серьезная задача о повышении степени информационной безопасности. Внедряя меры безопасности и этические принципы, мы можем воспользоваться преимуществами больших данных, одновременно снижая связанные с ними риски.

Изначально большие объемы хранилища и вычислительная мощность, необходимые для работы с большими данными, делают использование инфраструктуры облачных вычислений и сервисов для больших данных практичным для большинства предприятий. Но, несмотря на привлекательность облачных вычислений, открытые ключи API, токены и неправильные конфигурации представляют

собой риски в облаке, к которым стоит относиться серьезно. Снизить эти риски становится проще благодаря автоматизированному инструменту сканирования, который быстро сканирует общедоступные облачные ресурсы на наличие «слепых зон» безопасности.

В конвейере больших данных также существует постоянный поток трафика, поскольку данные поступают из множества различных источников, включая потоковые данные с платформ социальных сетей и данные с конечных точек пользователей. Анализ сетевого трафика обеспечивает видимость сетевого трафика и любых потенциальных аномалий, таких как вредоносные данные с устройств Интернета вещей или используемые незашифрованные протоколы связи.

Ожидается, что в будущем использование больших данных станет еще более распространенным и интегрированным в повседневную жизнь людей. Это может привести к созданию новых продуктов и услуг, которые будут базироваться на индивидуальных потребностях и предпочтениях пользователей, а также к укреплению безопасности и прозрачности использования данных [15].

ЛИТЕРАТУРА

1. Пашаев М. Я., Абдулаева С. И., Намаева М. М., Халиева Х. С. Анализ проблем безопасности больших данных в IoT и методов их преодоления // Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XVIII. №4 (30). 2022. С. 24-30. DOI: 10.34708/GSTOU. 2022.89.36.003

2. *Гайрабеков И. Г., Моисеенко Н. А., Гагаев Р. Х.* Дрейф-компенсация инерциальных датчиков. Новые методы на основе глубокого обучения // Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XIX. №2. 2023. С. 5-13. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.78.94.001
3. *Минцаев М. Ш., Алисултанова Э. Д., Мидаева А. А.* Исследование и разработка автоматизированной информационной системы для учета самозанятых студентов // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIX. №2. С. 25-31. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.94.41.003
4. *Миркин Б. Г.* Введение в анализ данных: учебник и практикум/Б. Г. Миркин. Москва: Издательство Юрайт, 2022. 174 с.
5. *Вьющенко О. О., Маслова М. А.* Об обеспечении безопасности в сфере интернета вещей/О. О. Вьющенко, М. А. Маслова // Информационные технологии. Т. 6. №3. 2021. С. 33-39.
6. *Роуз М.* Интернет вещей (IoT). Повестка дня ИОТ. М. Роуз [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT> (дата обращения: 14.10.2022).
7. *Алисултанова Э. Д., Моисеенко Н. А., Юсупова Р. В., Тасуев У. Р.* Система оптимизации работы клиентских служб на основе нейронных сетей // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 12 (часть 1). С. 15-20.
7. Что такое Big Data? [Электронный ресурс]/Режим доступа: <https://www.oracle.com/cis/big-data/what-is-big-data/> (дата обращения: 17.05.2023).
8. Что такое Big Data: как работать с большими данными [Электронный ресурс]/Режим доступа: <https://mediation.ru/blog/analitika/chto-takoe-big-data-prostyimi-slovami/> (дата обращения: 17.05.2023).
9. Что такое наука о данных? [Электронный ресурс]/Режим доступа: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/data-science/> (дата обращения: 17.05.2023).
10. Что такое ИИ? [Электронный ресурс]/Режим доступа: <https://www.oracle.com/cis/artificial-intelligence/what-is-ai/> (дата обращения: 18.05.2023).
11. Data Science в медицине [Электронный ресурс]/Режим доступа: <https://hightech.fm/2021/07/16/data-science-medicine> (дата обращения: 22.05.2023).
12. ИИ в рентгенологии [Электронный ресурс]/Режим доступа: <https://sbermed.ai/ii-v-radiologii/> (дата обращения: 24.05.2023).
13. Heart Attack Dataset [Электронный ресурс]/Режим доступа: <https://data.mendeley.com/datasets/wmhctcrt5v/1> (дата обращения: 24.05.2023).
14. Big Data – что это такое, суть, определение, как работает и зачем нужно [Электронный ресурс]/Режим доступа: https://chto-takoe.net/chto-takoe-big-data-bolshie-dannye/#Budusee_Big_Data_i_ego_vlianie_na_obsestvo (дата обращения: 25.05.2023).

BIG DATA AND SOME POSSIBILITIES OF THEIR APPLICATIONS

© N. A. Moiseenko, M. M. Tsuev, E Kh. Saratova
 GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

The volume of big data exchanges on the web is increasing every day. Data analysis is a constantly evolving field in which new technologies and methods are regularly developed. Keeping track of the pace of these updates is critical to ensure that companies and individuals have at their disposal the tools they need to make informed decisions.

This article discusses some of the possibilities and applications of big data, including in medicine, analyzes the experiment, various machine learning models such as logistic regression, random forest, support vector machine and naive Bayes were used to predict the target variable. Comparative characteristics of the effectiveness of the models used in terms of the effectiveness of solving the problem based on a sample of data are given, the results are summed up and the corresponding conclusions are drawn. Variants are considered, which features will most significantly play a role in the construction of models. The article reveals the possibilities of using big data analytics methods and its importance in the modern world of medicine for creating health-saving conditions.

Keywords: big data, data analysis, machine learning, artificial intelligence, neural networks, machine learning algorithms, deep learning, support vector machine, naive Bayes, random forest.

REFERENCES

1. Pashaev, M. Ya., Abdulaeva, S. I., Namaeva, M. M. and Khalieva, Kh.S. (2022). 'Analysis of big data security problems in IOT and methods for overcoming them'. *Herald of GSTOU. Technical sciences*. V. XVIII, №4 (30), pp. 24-30. DOI: 10.34708/GSTOU.2022.89.36.003
2. Gairabekov, I. G., Moiseenko, N. A. and Gagaev, R. Kh. (2023). 'Drift compensation of inertial sensors. New methods based on deep learning'. *Herald of GSTOU. Technical sciences*. Volume XIX, №2, pp. 5-13. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.78.94.001
3. MintsaeV, M. Sh., Alisultanova, E. D. and Midaeva, A. A. (2023). 'Research and development of an automated information system for accounting for self-employed students'. *Herald of GSTOU. Technical sciences*. Volume XIX, №2, pp.25-31. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.94.41.003
4. Mirkin, B. G. (2022). *Introduction to data analysis: textbook and workshop*. Yurayt Publishing House, Moscow, 174 p.
5. Vyushchenko, O. O. and Maslova, M. A. (2021). On ensuring security in the field of the Internet of things. *Information technologies*. V. 6. №3, 33-39.
6. Rose, M. Internet of things (IoT). IOT agenda. [Online], available at: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT> (Accessed 10.14.2022).
7. Alisultanova, E. D., Moiseenko, N. A., Yusupova, R. V. and Tasuev, U. R. (2021). 'System for optimizing the work of client services based on neural networks'. *Modern high technologies*. №12 (part 1), pp. 15-20.
8. What is Big Data? [Online], available at: <https://www.oracle.com/cis/big-data/what-is-big-data/> (Accessed 05.17.2023).
9. What is Big Data: how to work with big data [Online], available at: <https://mediation.ru/blog/analitika/chto-takoe-big-data-prostymi-slovami/> (Accessed 17.05.2023).
10. What is data science? [Online], available at: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/data-science/> (Accessed 05.17.2023).
11. What is AI? [Online], available at: <https://www.oracle.com/cis/artificial-intelligence/what-is-ai/> (Accessed 05.18.2023).
12. Data Science in Medicine [Online], available at: <https://hightech.fm/2021/07/16/data-science-medicine> (Accessed: 05.22.2023).
13. AI in radiology [Online], available at: <https://sbermed.ai/ii-v-radiologii/> (Accessed 05.24.2023).
14. Heart Attack Dataset [Online], available at: <https://data.mendeley.com/datasets/wmhctcrt5v/1> (Accessed 05.24.2023).
15. Big Data – what it is, essence, definition, how it works and why it is needed? [Online], available at: https://chto-takoe.net/chto-takoe-big-data-bolshie-dannye/#Budusee_Big_Data_i_ego_vlianie_na_obsstvo (Accessed 25.05.2023).

ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

© Р.С. Джамбулатов

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

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

В работе приводятся результаты экспериментальных исследований концентрационной зависимости σ двойных (изопропиловый спирт-вода; пропиленгликоль-вода) и тройных (изопропиловый спирт-пропиленгликоль-вода) растворов во всем диапазоне концентраций и атмосферном давлении при температурах 293,15 и 303,15 К. Поскольку в открытой печати литературные данные по изученным системам в условиях, сравнимых с условиями исследования, отсутствуют, представленные данные актуальны в качестве справочной информации. Представлены результаты расчета адсорбции компонентов раствора (N-вариант по Гугенгейму и Адаму). Показано, что суммарные адсорбции компонентов по разрезу тройной системы и боковых двойных близки по форме, а следовательно, это позволяет сделать предположение о том, что адсорбционные явления в тройной системе можно предсказать по значениям σ боковых двойных. Показано, что возможная толщина поверхностного слоя исследованных систем равна 5.

Ключевые слова: поверхностное натяжение, адсорбция, состав поверхностного слоя, органические вещества, растворы, многокомпонентные системы.

Формат цитирования: Джамбулатов Р.С. Большие данные и некоторые возможности их применения // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIX, №3 (33). С.24-32. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.53.84.003

Введение

Поверхностное натяжение (σ) является важным параметром поверхности жидкости, поскольку оно дает информацию о структуре и межмолекулярных взаимодействиях чистых соединений и их смесей. С точки зрения применения, значения σ играют важную роль при переносе массы и энергии через границу раздела фаз [1]. Поэтому этот параметр влияет на различные промышленные процессы, такие как разделение жидкости и жидкости, экстракция, адсорбция, дистилляция и производительность биологических мембран [1, 2].

Теоретическая часть

Исследования концентрационной зависимости σ органических растворов имеют научную значимость в области нефтехимии и технологий переработки нефти. Величина поверхностного натяжения в различных растворах является важнейшей величиной, влияющей на эффективность данных систем в качестве их практического использования. Вот далеко

не полный перечень, где эти исследования являются актуальными:

– органические растворители обычно используются для извлечения из сырой нефти нужных компонентов, таких как ароматические вещества, нафтенy и парафины. Экстракция растворителями помогает отделить различные углеводородные фракции, что позволяет производить конкретные нефтехимические продукты;

– катализаторы и реагенты: органические растворы используются в качестве носителей или реакционной среды для катализаторов и реагентов, используемых в различных процессах нефтепереработки и нефтехимии. Они помогают облегчить химические реакции и повысить эффективность процессов преобразования;

– химические реакции: органические растворители играют решающую роль во многих химических реакциях в нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Они обеспечивают подходящую среду для таких реакций, как алкилирование, полимеризация, гидрогенизация и изомеризация, позволяя синтезировать ценные нефтехимические продукты и продукты;

– очистка и обезжиривание: органические растворители широко используются для очистки и обезжиривания оборудования и машин на нефтехимических и нефтеперерабатывающих заводах. Они помогают удалить масло, смазку и другие загрязнения, обеспечивая эффективную работу и обслуживание оборудования;

– как основа для разработки моделей и прогнозирования поведения растворов при различных концентрациях. Это может быть полезным для предсказания и оптимизации свойств и поведения жидкостей в различных приложениях и процессах.

Кроме того, одноатомные и двухатомные спирты вызывают интерес благодаря гидроксильным группам и их взаимодействию с другими компонентами. Так, гидроксильная функциональная группа молекулы спирта участвует в образовании водородных связей, действуя, в одном случае, как донор протонов, а в другом – как акцептор протонов. Поэтому спирты, сами по себе или в растворах (вода), обычно используются как компоненты для производства продукции фармацевтической, нефтехимической и косметической промышленности [3-7].

Фундаментальной основой для описания капиллярных явлений является уравнение Лапласа. Оно связывает градиент давления с поверхностным натяжением на границе раздела двух фаз. Уравнение Лапласа имеет следующий вид:

$$\Delta P = 2\gamma/R \quad (1)$$

где: ΔP – разность давлений внутри и вне жидкости (в Па или Н/м²);

γ – поверхностное натяжение жидкости (в Н/м или Дж/м²);

R – радиус кривизны поверхности жидкости (в метрах).

Это уравнение показывает, что разность

давлений внутри и вне жидкости прямо пропорциональна поверхностному натяжению и обратно пропорциональна радиусу кривизны поверхности.

Однако в реальных условиях эксперимента, в зависимости от метода, необходимо учитывать и другие факторы, такие как гравитационные эффекты, деформацию капли или взаимодействие с подложкой. Поэтому в некоторых случаях используются модифицированные уравнения или дополнительные коррекции для более точного определения поверхностного натяжения (например, в методе висящей капли).

Поскольку в работе использованы несколько методов измерения σ (метод висящей капли и отрыва кольца Дю Нуи), подробнее ознакомимся с теоретическими особенностями этих методов.

Метод висящей капли относится к статистическим методам измерения жидкости. Сущность метода висящей капли заключается в том, что под действием сил σ маленькие капли стремятся принять сферическую форму. Если каплю жидкости поместить в среду той же плотности, то эта капля принимает сферическую форму. Если плотность капли отличается от плотности среды, то величина σ будет соизмерима со значением гравитационных сил, и капля будет иметь форму не сферы, а некоторой фигуры вращения. По форме таких капель, согласно уравнению Лапласа, рассчитывается σ жидкости. Для этого необходимо определить параметры капли, характеризующие степень отклонения формы капель от правильной сферы [8].

Для этого определяют такие параметры капель, которые характеризуют отклонение формы капель от сферической. Для определения поверхностного натяжения

по форме таких капель измеряют $S = \frac{d_s}{d_m}$, где d_m – максимальный диаметр капли (пузырька); d_s – диаметр, измеренный на расстоянии d_m от нижней точки капли. Расчет поверхностного натяжения проводят по формуле:

$$\sigma = \frac{d_m^2 \Delta \rho g}{H} \quad (2)$$

где $\Delta \rho$ – разность плотности жидкости и атмосферы; g – гравитационная константа; H – безразмерный параметр, который приводится в таблицах Бешфорта, Адамса и Штауффера в зависимости от параметра S [9].

Метод висающей капли является одним из распространенных методов измерения σ жидкости. Он нашел обширное применение в научных и промышленных исследованиях, где прецизионное измерение σ жидкостей является важным параметром. Аппаратное обеспечение и алгоритм проведения измерений подробно освещены в работах [10, 11].

Метод отрыва кольца Дю Нуи – это методика измерения поверхностного натяжения жидкостей. Суть методики заключается в измерении силы, необходимой для отрыва тонкого кольца с поверхности жидкости. Принцип работы основан на явлении поверхностного натяжения, которое проявляется в том, что поверхность жидкости стремится сократить свою площадь и образует своего рода «пленку». Чем больше поверхностное натяжение, тем больше сила, необходимая для отрыва кольца от поверхности. При подъеме кольца с поверхности возникает сила сцепления между жидкостью и кольцом. Эта сила измеряется, и с помощью уравнения (3) определяется величина σ раствора [12].

$$\sigma = \frac{F_{max} - F_v}{L \cos \theta} \quad (3)$$

где: F_{max} – максимальное усилие, необходимое для отрыва кольца от поверхности; F_v – сила, обусловленная гидростатическим столбом жидкости, находящейся под кольцом; L – длина смачивания.

Метод отрыва кольца Дю Нуи позволяет определить поверхностное натяжение жидкости с высокой точностью. Он находит применение в различных областях, таких как химия, физика, биология, медицина и другие, где изучение поверхностных свойств жидкостей имеет важное значение.

Экспериментальная часть

1. Используемые материалы

Изопропиловый спирт (массовая доля = 0,999), пропиленгликоль (массовая доля = 0,999) и использовались без дополнительной очистки. Вода – бидистиллят.

Поверхностное натяжение чистых компонентов при 293,15 К сравнивали с данными, приведенными в справочнике [13]. Полученные значения находятся в хорошем согласии с литературными данными.

2. Методика и аппаратура

Поверхностное натяжение каждого образца жидкости (чистой или смеси) измерялось с помощью методов висающей капли (DSA-100 «KRUSS») и методом отрыва кольца Дю Нуи (K-100 «KRUSS»).

DSA-100 измерительная система с модульной конструкцией, состоящей из легко встраиваемых компонентов, таких как температурная камера, контролируемая компьютерной программой оптика и система дозирования. Программное обеспечение системы позволяет проводить видеозапись, делать снимки профилей капли и сохранять для последующего использования. Заявленная производителем погрешность измерения для растворов достигает $\pm 0,1\%$.

Автоматические тензиометры K-100 спроектированы для многостороннего применения в практике прецизионного измерения σ жидких сред. Измерение σ жидкости на тензиометре K-100 основано на использовании стандартного измерительного элемента – платинового кольца. Перед каждым измерением платиновое кольцо полностью очищалось и прокаливало. Величина погрешности измерения поверхностного натяжения этим методом составляет $\pm 0,2\%$.

Каждое измерение σ (точка на графике), независимо от метода, повторялось десятикратно для проверки воспроизводимости результатов.

Полученные экспериментальные данные представлены на рис. 1.

Как видно из представленных данных (рис. 1), изотермы σ всех изученных растворов претерпевают сильное снижение до от 0 до 0.2 молярных долей спиртов. Начиная с области

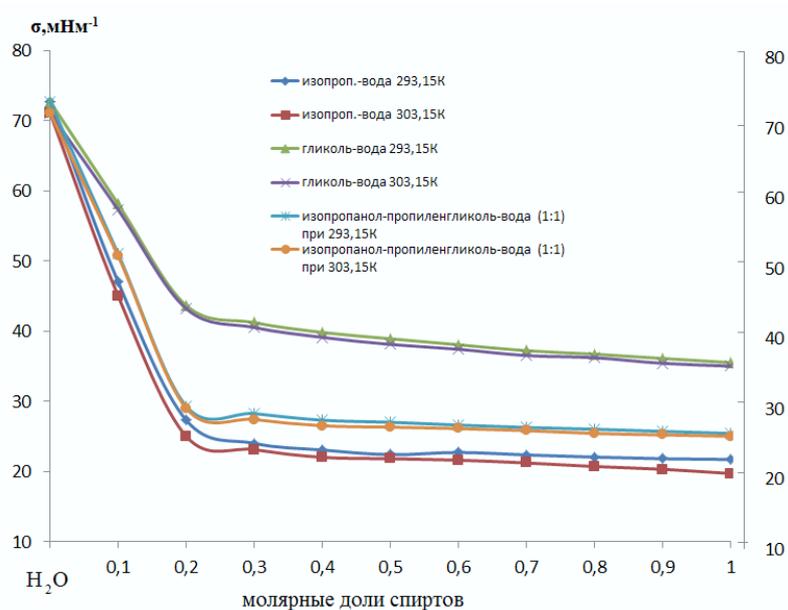


Рис. 1. Концентрационная зависимость поверхностного натяжения тройной и боковых двойных систем, при 273, 15 К и 303, 15

составов 0,2-0,25 молярной доли спиртов изотермы σ выходят на плато. Нужно отметить, что изотермы σ тройной системы занимают промежуточное положение относительно изотерм σ боковых двойных концентрационного треугольника. Это дает основание предполагать, что органические компоненты раствора не усиливают действие друг друга.

Кроме того, анализ полученных кривых изотерм σ системы изопропанол-пропиленгликоль-вода (изопропанол:пропиленгликоль = 1:1) подтверждает вывод о том, что изотермы σ по лучевым разрезам концентрационного треугольника не содержат особенностей по сравнению с изотермами σ боковых двойных растворов.

Результаты и обсуждение

На основе полученных экспериментальных результатов исследований зависимости σ от составов компонентов в двойных и тройных растворах веществ проведены расчеты адсорбции (N-вариант по Гугенгейму и Адаму) и содержания компонентов в поверхностном слое.

Из-за отсутствия данных по термодинамическим активностям для этих систем расчеты адсорбции и содержания компонентов в поверхностном слое проводились по формулам, полученным для идеальных растворов.

Для идеальных многокомпонентных растворов автором [14] получено выражение для N-варианта адсорбции:

$$\Gamma_m^n = -\frac{x_m(1-x_m)}{RT} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial x_m} \right)_{K_{ij}} \quad (4)$$

где x_m – молярные доли i-компонента; $K_{ij} = i; j \neq m$ – постоянная, которая определяет направление секущего разреза. Полученные результаты представлены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что изотермы адсорбции достигают максимума при 0,1 мольных долях добавляемого компонента, т.е. 0,9 мольных долей воды независимо от температуры. Дальнейшее увеличение содержания спиртов приводит к снижению изотерм адсорбции до нуля при достижении концентрации 0,5 мольных долей воды.

С целью изучения характера распределения молекул адсорбента между поверхностными слоями были проведены расчеты по определению состава поверхностного слоя изученных систем. Эти данные полезны для понимания механизмов адсорбции и взаимодействий между компонентами и определения эффективности процесса адсорбции.

Для описания состава поверхностного слоя двух-трехкомпонентного раствора можно ис-

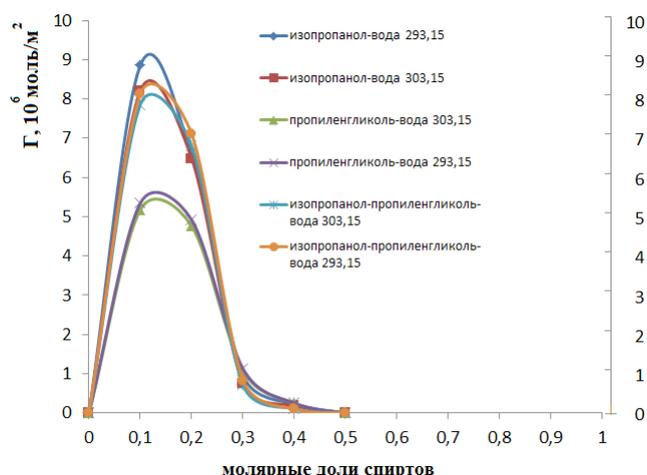


Рис. 2. Концентрационная зависимость адсорбции в тройной и боковых двойных системах при 273, 15К и 303, 15К

пользовать различные модели, которые учитывают взаимодействия компонентов на поверхности. Ниже приведены некоторые из них.

Модель идеального раствора: в этой модели предполагается, что компоненты в растворе взаимодействуют между собой и с поверхностью адсорбента так же, как в идеальном растворе. Это означает, что каждый компонент имеет равные шансы быть адсорбированным, и его концентрация на поверхности пропорциональна его концентрации в растворе.

Модель Ленгмюра: предполагает, что адсорбция компонентов на поверхности происходит путем образования монослоя поверхностно-активных веществ (ПАВ). Каждая адсорбированная молекула занимает фиксированное место на поверхности, и взаимодействия между адсорбированными молекулами отсутствуют. Уравнение Ленгмюра описывает зависимость покрытия поверхности от концентрации компонентов в растворе.

Модель ВЕТ (Brunauer, Emmett, Teller): предполагает, что на поверхности образуется несколько слоев ПАВ. В этой модели предполагается, что второй и последующие слои адсорбированных молекул взаимодействуют слабее, чем первый слой. Уравнение ВЕТ описывает многослойную адсорбцию газа на поверхности твердого тела [15].

В данной работе, в связи с отсутствием данных о коэффициентах активности бинарных

и тройных растворов, использована модель идеального раствора. Согласно этой модели, концентрация компонента на поверхности пропорциональна его концентрации в растворе и может быть выражена следующим уравнением:

$$\Gamma = KC \quad (5)$$

где: Γ – концентрация компонента на поверхности адсорбента; K – коэффициент адсорбции, который связывает концентрации на поверхности и в растворе; C – концентрация компонента в растворе.

Значение коэффициента адсорбции K может зависеть от различных факторов, включая природу компонентов, свойства поверхности адсорбента и условия эксперимента. Он может быть определен экспериментально путем измерения концентрации компонента на поверхности при различных концентрациях в растворе.

Из-за отсутствия данных по термодинамической активности расчеты проводились в предположении о том, что растворы идеальны, т. е. $a_i = f_i x_i = x_i$.

В этом предположении для вычисления состава поверхностного слоя имеем:

$$x_n^\omega = x_n - \frac{x_n(1-x_n)\omega}{RT} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial x_n} \right)_{kj} \quad (6)$$

где x_n^ω – молярная доля n -го компонен-

та в поверхностном слое; x_n – молярная доля n -го компонента в объеме; ω – молярная площадь; σ – поверхностное натяжение; R – универсальная газовая постоянная; T – температура. При расчете состава поверхностного слоя толщина поверхностного слоя задана априорно. На рис. 3-5 представлены полученные результаты.

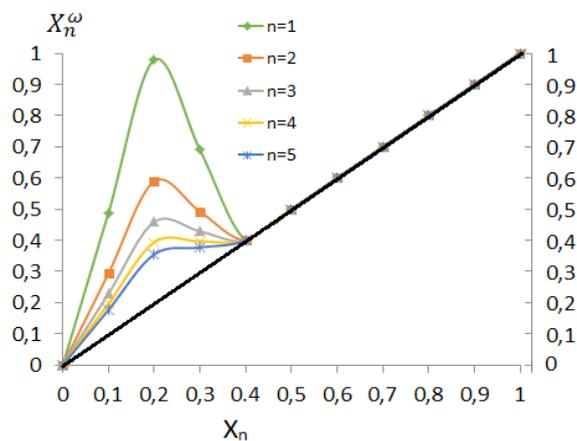


Рис. 3. Состав поверхностного слоя системы изопропанол-вода при 293,15 К

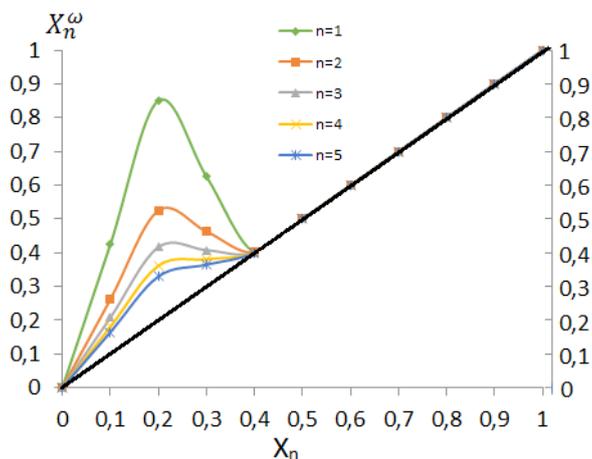


Рис. 4. Состав поверхностного слоя пропиленгликоль-вода 293,15 К

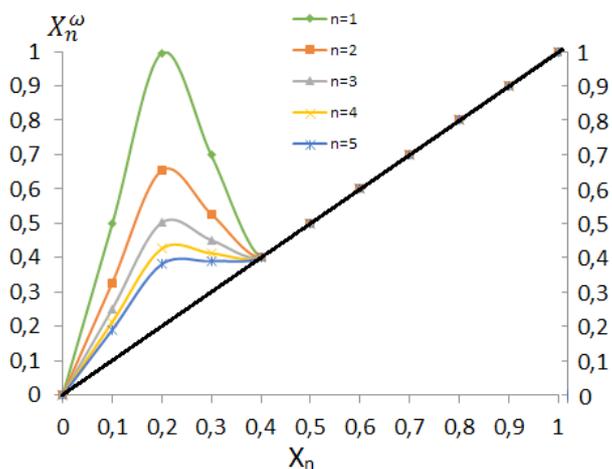


Рис. 5. Состав поверхностного слоя изопропанол-пропиленгликоль-вода 293,15 К

Как видно из этих полученных результатов, при толщине слоя (n) $n=1-3$ на участке 0,2-0,3 молярных долей поверхностно-активных компонентов наблюдается антибатное изменение состава поверхностного слоя от состава объемной фазы. Подобные результаты противоречат термодинамике, поскольку согласно критерию симбатности А. И. Русанова [16] состав поверхностного слоя может изменяться минимально при изменении составов. Таким образом, возможная толщина поверхностного слоя исследованных систем (изопропанол-вода; пропиленгликоль-вода; изопропанол-пропиленгликоль-вода при 293,15 К) $n = 5$, при этом в области средних составов (0.4) адсорбция исследованных систем равна нулю.

Выводы

Таким образом, в изученной тройной и боковых двойных системах органические вещества (изопропанол, пропиленгликоль) проявляют поверхностную активность и, как следствие, адсорбируются положительно, при этом возможная толщина поверхностного слоя исследованных систем (изопропанол-вода; пропиленгликоль-вода; изопропанол-пропиленгликоль-вода при 293,15 К) = 5. Следует отметить, что общим для всех изученных систем является то, что суммарные адсорбции компонентов по разрезу тройной системы и боковых двойных близки по форме, а следовательно, это позволяет сделать предположение о том, что адсорбционные явления в тройной системе можно предсказать по значениям σ боковых двойных.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bagheri A.* Prediction of surface tension and surface concentration of binary refrigerant system (R290/R600a) at various temperatures and pressures // *Physics and Chemistry of Liquids*. 2016. № 54 (6). Pp. 1-13
2. *Bagheri A., Fazli M., Bakhshaei M.* Effect of temperature and composition on the surface tension and surface properties of binary mixtures containing DMSO and short chain alcohols // *J. Chem Thermodyn*. 2016. № 101. Pp. 236-244.
3. *Rafati A.A., Bagheri A., Khanchi A.R. et al.* Application of the UNIFAC model for prediction of surface tension and thickness of the surface layer in the binary mixtures // *J. Colloid Interface Sci*. 2011. № 355. Pp. 252-258.
4. *Suhm M.A.* Hydrogen bond dynamics in alcohol clusters. *Adv. Chem Phys*, 2009. № 142. Pp. 1-57.
5. *Horng-Jang Liaw, Vincent Gerbaud, Yi-Hua Li.* Prediction of miscible mixtures flash-point from UNIFAC group contribution methods, *Fluid Phase Equilib.* (2010), doi:10.1016/j.fluid.2010.10.007
6. *Jonathan L., Madhurima V.* Surface tension study of concentration dependent cluster breaking in acetone-alcohol systems // *Science Vision*. 2012. № 12 (3). Pp. 102-105.
7. *Wei I.-C.; Rowley R. L.* Binary Liquid Mixed Viscosities and Densities // *J. Chem. Eng.* 1984. Pp. 332-335.
8. *Адамсон А. В.* Физическая химия поверхностей / А. В. Адамсон. Л.: Мир, 1979. 568 с.
9. *Andreas J.M.* Boundary tension by pendant drops // *The Journal of Physical Chemistry*. 1938. № 42 (8). Pp. 1001-1019.
10. *Дадашев Р.Х.* Установка по исследованию поверхностных свойств границы раздела фаз (DSA-100) / Р.Х. Дадашев, Р.С. Джамбулатов, Д. З. Элимханов // *Вестник Академии наук ЧР. Грозный*, 2011. № 1. С. 13-17.
11. *Дадашев Р.Х.* Измерение поверхностного натяжения методом висящей капли на тензиометре DSA-100 / Р.Х. Дадашев, Р.С. Джамбулатов, Д. З. Элимханов // *Сборник Тр. КНИИ РАН. Грозный*, 2012. № 5. С. 3-7.
12. *Щукин Е.Д.* Коллоидная химия / Е.Д. Щукин, А.В. Перцев, Е.А. Амелина М.: Высшая школа, 2004. 444 с.
13. *Wohlfarth CH.* Surface tension of pure liquids and binary liquid mixtures. In: *Lechner MD*, editor. *Landolt-Börnstein, New Series Group IV Physical Chemistry*. Berlin: Springer. 2008. 740 p.

14. Дадашев Р.Х. Термодинамика поверхностных явлений. М.: Физматиздат, 2008. 278 с.
15. Морачевский А.Г. Физическая химия: поверхностные явления и дисперсные системы: уч. пособие. 2-е изд., стер. СПб.: Лань, 2015. 160 с.
16. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления. Л.: Химия, 1967. 388 с.

SURFACE PROPERTIES OF AQUEOUS SOLUTIONS OF ORGANIC SUBSTANCES

© R. S. Dzhambulatov

¹ Kh. Ibragimov Complex Institute of the RAS, Grozny, Russia

² Chechen State University named after A. A. Kadyrov, Grozny, Russia

The paper presents the results of experimental studies of the concentration dependence σ of double (isopropyl alcohol-water; propylene glycol-water) and triple (isopropyl alcohol-propylene glycol-water) solutions in the entire concentration range and at atmospheric pressure at temperatures of 293.15 and 303.15 K. Since there are no literature data on the studied systems under conditions comparable to those of the study in the open press, the presented data are relevant as reference information. Results of calculation of adsorption of solution components (N-variant according to Guggenheim and Adam) are presented. It is shown that the total adsorptions of the components along the section of the triplet system and the side twins are close in shape, and hence it allows us to make the assumption that the adsorption phenomena in the triplet system can be predicted by the σ values of the side twins. It is shown that the possible thickness of the surface layer of the studied systems is 5.

Keywords: surface tension, adsorption, surface layer composition, organic substances, solutions, multicomponent systems.

REFERENCES

1. Bagheri, A. (2016). Prediction of surface tension and surface concentration of binary refrigerant system (R290/R600a) at various temperatures and pressures. *Physics and Chemistry of Liquids* 2016, № 54 (6), pp. 1-13.
2. Bagheri, A., Fazli, M. and Bakhshaei, M. (2016). *Effect of temperature and composition on the surface tension and surface properties of binary mixtures containing DMSO and short chain alcohols*. *J. Chem Thermodyn.* 101, pp. 236-244.
3. Rafati, A. A., Bagheri, A., Khanchi, A. R. et al. (2011). *Application of the UNIFAC model for prediction of surface tension and thickness of the surface layer in the binary mixtures*. *J. Chem. Colloid Interface Sci.* 2011, № 355. Pp. 252-258.
4. Suhm, M. A. (2009). *Hydrogen bond dynamics in alcohol clusters*. *Adv. Chem Phys*, 142, pp. 1-57.
5. Horng-Jang Liaw, Vincent, Gerbaud and Yi-Hua, Li (2010). *Prediction of miscible mixtures flash-point from UNIFAC group contribution methods*, *Fluid Phase Equilib.*, DOI:10.1016/j.fluid.2010.10.007
6. Jonathan, L. and Madhurima, V. (2012). 'Surface tension study of concentration dependent cluster breaking in acetone-alcohol systems'. *Science Vision*. № 12 (3). Pp. 102-105.
7. Wei, I.-C. and Rowley, R. L. (1984). *Binary Liquid Mixed Viscosities and Densities*. *J. Chem. Chem. Eng.* Pp. 332-335.
8. Adamson, A. V. (1979). *Physical Chemistry of Surfaces*. Mir, Leningrad, 568 с.
9. Andreas, J. M. (1938). 'Boundary tension by pendant drops'. *The Journal of Physical Chemistry*. 42 (8), pp. 1001-1019.
10. Dadashev, R. H. Dzhambulatov, R. S. and Elimkhanov, D. Z. (2011). 'Installation for studying the surface properties of the interface (DSA-100)'. *Bulletin of the Academy of Sciences of the CR.*, № 1, Grozny, pp. 13-17.
11. Dadashev, R. H., Dzhambulatov, R. S. and Elimkhanov, D. Z. (2012). 'Measurement of surface tension by the method of a hanging drop on tensiometer DSA-100'. *Proceedings of the scientific*

- research institute of the Russian academy of sciences. Grozny, №5. С. 3-7.*
12. Shchukin, E. D. Pertsev, A. V. and Amelina, E. A. (2004). *Colloidal Chemistry*. Higher School, Moscow, 444 p.
 13. Wohlfarth, C. H. (2008). *Surface tension of pure liquids and binary liquid mixtures*. In: Lechner MD, editor. Landolt-Börnstein, New Series Group IV Physical Chemistry. Springer Berlin, 740 p.
 14. Dadashev, R. Kh. (2008). *Thermodynamics of surface phenomena*. Fizmatizdat, Moscow, 278 p.
 15. Morachevsky, A. G. (2015). *Physical chemistry: surface phenomena and disperse systems: a tutorial*. 2-nd ed. Lan', Spb., 160 с.
 16. Rusanov, A. I. (1967). *Phase equilibria and surface phenomena*. Chemistry, Leningrad, 388 p.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ СЛИТКОВ ПУТЕМ ВНЕШНИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЖИДКИЙ И ЗАТВЕРДЕВАЮЩИЙ МЕТАЛЛ

© С. С.-С. Ахтаев, Н. С. Уздиева, А. С. Нурадинов, А. А. Эльмурзаев
ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

Качество и физико-механические характеристики литого металла главным образом определяются условиями, при которых происходит его кристаллизация и структурообразование. В данной работе методом физического моделирования предпринята попытка управления процессами кристаллизации и структурообразования опытных слитков путем внешних воздействий на жидкий и затвердевающий металл. В качестве внешнего физического приема воздействия на изучаемые процессы использована вибрация, а химического – растворимые примеси (модификаторы II рода).

По результатам физического моделирования установлено, что вводимые растворимые примеси, снижая поверхностное натяжение на границе «кристалл – переохлажденная жидкость», уменьшают работу образования критического зародыша. В результате этого заметно повышается скорость зародышеобразования в затвердевающем расплаве и, как следствие, происходит формирование более мелкозернистой кристаллической структуры опытных слитков. Вибрационная обработка затвердевающего расплава модельной среды, независимо от его чистоты (с примесями или без), обеспечивает формирование мелкозернистой кристаллической структуры опытных слитков за счет разрушения фронта кристаллизации под действием сил упругих волн и диспергирования свободных кристаллов в объеме расплава за счет развития кавитации.

Установленные на опытных слитках закономерности влияния использованных приемов внешнего физико-химического воздействия на процессы формирования их структур с учетом критериев и масштабов моделирования могут быть использованы при разработке оптимальных технологических параметров разлива реальных металлов.

Ключевые слова. Камфен, расплав, модификатор II рода, вибрация, зародышеобразование, кристаллизация, формирование структуры, слиток.

Формат цитирования: Ахтаев С. С.-С., Уздиева Н. С., Нурадинов А. С., Эльмурзаев А. А. Управление процессами кристаллизации и структурообразования слитков путем внешних физико-химических воздействий на жидкий и затвердевающий металл // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIX, №3 (33). С.33-41. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.50.11.004

Введение. Для формирования структуры и свойств слитков особое значение имеет режим кристаллизации, который открывает широкие возможности для воздействия на затвердевающий металл в целях улучшения его качества. Значительное влияние на процессы кристаллизации и формирование структуры металлов оказывает применение растворимых добавок (модификаторы II рода) и вибрационное воздействие на затвердевающие расплавы. Поэтому эти факторы представляются наиболее интересными как эффективные приемы воздействия на кристаллизацию и структу-

рообразование металлов и сплавов. Модифицирование сплавов растворимыми добавками и вибрационное воздействие на металлы в процессе их кристаллизации изучены и показаны в работах многих исследователей, однако выводы авторов о механизме влияния этих факторов во многом не совпадают [2-6, 10-12].

В этой работе установлены закономерности воздействия вибрационной обработки и растворимых добавок на процессы зародышеобразования и, как следствие, на формирование кристаллической структуры модельного слитка в целом.

Методика. Зарождение и рост кристаллов при формировании литых заготовок из реальных металлов невозможно наблюдать визуально вследствие их непрозрачности. Поэтому иногда для изучения этих процессов применяют методы физического моделирования на прозрачных органических веществах. В этих исследованиях в роли модельного сплава мы использовали прозрачное органическое вещество камфен ($C_{10}H_{16}$) с низкой температурой плавления ($t_{л}=45^{\circ}C$) и, подобно реальным металлическим сплавам, кристаллизующееся в интервале температур ($\Delta t_{кр.}=3^{\circ}C$) с образованием кристаллов дендритной формы. Эти факторы дают возможность визуально наблюдать процесс зарождения и роста кристаллов и внимательно изучать кинетику протекания этих процессов.

Роль имитаторов модификаторов II рода при проведении экспериментов выполняли растворимые примеси парафин и циклогексанола ($C_6H_{12}O$), которые добавлялись в количествах 1; 2 и 4% (объемн.). Добавку вводили в расплавленный в стакане камфен, который затем заливали в термостатируемую модель плоского слитка размерами (240x120x5 мм). В соответствии с рассчитанными масштабами подобия температур имитировали разливу стали с перегревом в $50-60^{\circ}C$ в чугунную изложницу. Внутри модели на трех уровнях и в трех поперечных сечениях модели располагались 9 хромель-алюмелевых термопар для регистрации температуры расплава в процессе его кристаллизации. С помощью температурных кривых охлаждения в тепловом центре опытных слитков определяли общее время их кристаллизации, а через каждые 2 мин. по изменению размеров кристаллов определяли скорость и кинетику продвижения фронта кристаллизации. Затвердевший камфен по окончании каждого опыта расплавляли и сливали с модели. При проведении следующего эксперимента в тщательно очищенную модель заливали модельный расплав с большей концентрацией добавки и повторяли опыт.

При проведении экспериментов с вибрационным воздействием модель устанавливалась на жесткую резиновую подложку. Вибрация

модели с расплавом происходила в основном сверху вниз в вертикальной плоскости. Все варианты экспериментов повторялись под воздействием вибрации с постоянной амплитудой (1 мм) с меняющейся частотой вибрации в пределах 70...95 Гц. Полученные структуры слитков фиксировали цифровой фотокамерой.

Обсуждение результатов. Общее время кристаллизации слитков при добавлении в камфен парафина и циклогексанола значительно уменьшается (рис. 1). Во всех экспериментах была обеспечена одинаковая интенсивность теплоотвода от расплава, поэтому снижение времени затвердевания слитка объясняется тем, что изменения в процессах зарождения и роста центров кристаллизации вызваны наличием в расплаве добавок.

Растворимые добавки могут тормозить процессы зарождения и роста кристаллов или ускорять их. При использовании поверхностно-активной добавки на границе «зародыш – переохлажденная жидкость» уменьшается поверхностное натяжение и, как следствие, граница метастабильно сдвигается в сторону малых переохлаждений. Т.е. при температурах, которые близки к температуре плавления, из-за присутствия растворимых добавок кристаллы зарождаются также и в объеме расплава. В нашем случае при добавлении циклогексанола и парафина в количестве $\geq 1\%$ с самого начала процесса затвердевания в объеме расплава появлялся «туман» из мельчайших кристалликов, поэтому можно предположить, что эти вещества являются поверхностно-активными примесями по отношению к камфену. Рост процента растворимых добавок в камфен усиливает данный эффект, что вызывает объемную кристаллизацию расплава. Следовательно, влияние растворимых примесей на общее время кристаллизации модельных слитков (рис. 1) может быть обусловлено тем, что они оказывают воздействие как на зарождение и рост кристаллов, так и на форму кристаллов.

Так как затвердевание камфена происходит по аналогичному механизму, что и металлы, то добавление в его расплав примесных атомов должно вызвать образование на их основе групп связанных кластеров. Полагают,

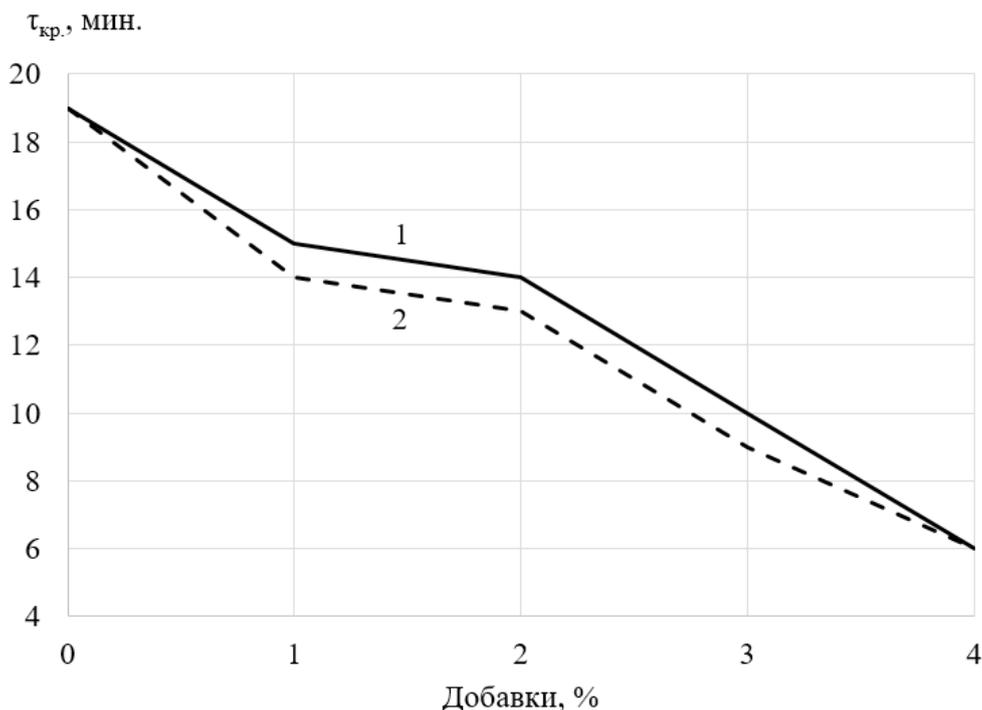


Рис. 1. Зависимость времени кристаллизации модельного слитка от содержания вводимых добавок: 1 – циклогексанола; 2 – парафина

что механизм возникновения протяженных кластеров обусловлен тем, что из-за различия зарядов расплава и ионов примеси меняется концентрация электронов вокруг ионов примесной добавки [2].

В ходе экспериментов на модельном сплаве визуальным наблюдением за процессом его кристаллизации и измерения температуры при помощи термопар, расположенных в разных частях затвердевающего расплава, мы установили, что добавление 4% циклогексанола и парафина приводит к уменьшению температуры кристаллизации камфена на 4-5°C. Как показали отдельно выполненные эксперименты, этот факт не является следствием переохлаждения расплава камфена. Возможно, при увеличении концентрации растворимых примесей происходит взаимодействие компонентов расплава и усложнение состава кластеров, что и вызывает уменьшение температуры начала кристаллизации камфена.

Растворимые примеси не только увеличивают скорость формирования центров кристаллизации, но еще и влияют на скорость роста кристаллов. При добавлении в камфен циклогексанола и парафина значительно умень-

шается скорость линейного роста отдельных кристаллов в расплаве (рис. 2).

Снижение линейной скорости роста кристаллов камфена трудно объяснить иначе, кроме как адсорбцией добавок примесей циклогексанола и парафина на их поверхностях. Это является подтверждением того, что использованные нами добавки по механизму своего воздействия являются поверхностно-активными к затвердевающему камфену, т.е. типичными модификаторами II рода. Интересно, что при добавлении в камфен циклогексанола 4% (объемн.) наблюдается обратное явление, то есть скорость роста кристаллов камфена увеличивается (рис. 2, линия 4). Скорее всего, здесь при повышении концентрации циклогексанола до определенной степени происходит снижение эффективности его модифицирующего действия, т.е. наблюдаем так называемое явление перемодифицирования. Как известно, при повышении концентрации модификаторов II рода сверх определенного уровня примесные кластеры начинают взаимодействовать между собой. В результате такого взаимодействия тип упорядочения атомов в примесных кластерах становится близким к исходному расплаву [3].

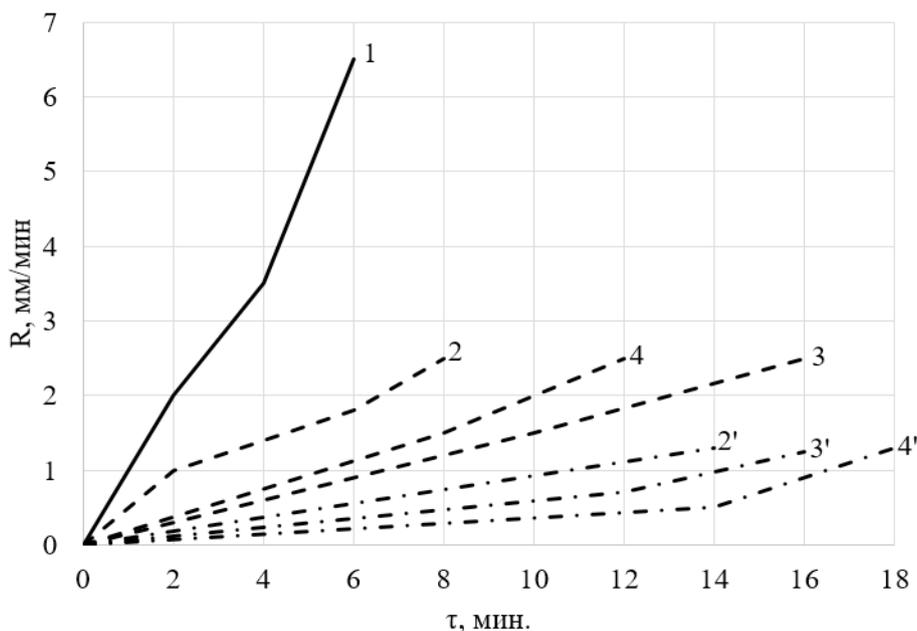


Рис. 2. Изменение линейной скорости роста кристаллов модельного сплава во времени в зависимости от содержания вводимых примесей: 1 – чистый камфен; 2, 3 и 4 – камфен с примесями циклогексанола 1, 2 и 4% соответственно; 2', 3' и 4' – камфен с примесями парафина 1, 2 и 4% соответственно

Такое существенное воздействие вводимых в камфен добавок на параметры его кристаллизации (скорость зародышеобразования и линейную скорость их роста), безусловно, влияет и на морфологию кристаллов, и на макроструктуру опытных слитков (рис. 3). Кристаллы чистого камфена, как показывает наблюдение, обладают четко выраженной огранной морфологией, достаточно устойчивой в наших экспериментах (рис. 3, а). Морфология кристаллов заметно изменяется при вводе в расплав камфена добавок циклогексанола и особенно парафина (рис. 3, б и в). Скорость роста отдельных кристаллов опережала скорость фронта кристаллизации, но закономерность влияния добавок соблюдалась и для фронта кристаллизации в целом. Используемые в экспериментах растворимые добавки стимулировали формирование более дисперсных кристаллических структур опытных слитков, что обусловлено ростом скорости зародышеобразования (рис. 3).

Авторы [2, 3] полагают, что модифицирующее действие растворимых добавок на кинетику кристаллизации заключается в том, что при увеличении разности между свободной энергией кристалла и переохлажденного расплава снижается работа образования критиче-

ского зародыша. Свободная энергия расплава изменяется путем воздействия атомов примесей на строение сплава-растворителя, в результате которого формируются примесные кластеры, имеющие близкие к кристаллам характеристики упорядочения атомов. Поэтому для измельчения кристаллической структуры литого металла в отливках и слитках в расплав добавляют специальные добавки, которые оказывают на процессы кристаллизации такое комплексное воздействие. Такими добавками для реальных металлов могут быть разные поверхностно-активные элементы, которые будут выполнять роль модификаторов II рода. К примеру, для алюминия и некоторых сплавов алюминия с кремнием модификаторами II рода служат литий, калий, натрий, висмут; для сталей – бор; для меди – олово и сурьма и т. д. [4, 5].

В ходе выполнения работы определен еще один эффективный прием, который в значительной степени позволяет управлять процессами кристаллизации и формирования структуры опытных слитков [8, 9, 12]. Роль такого инструмента в наших экспериментах выполняла вибрация, которая позволяла оказывать силовое воздействие на модельный расплав при его затвердевании.

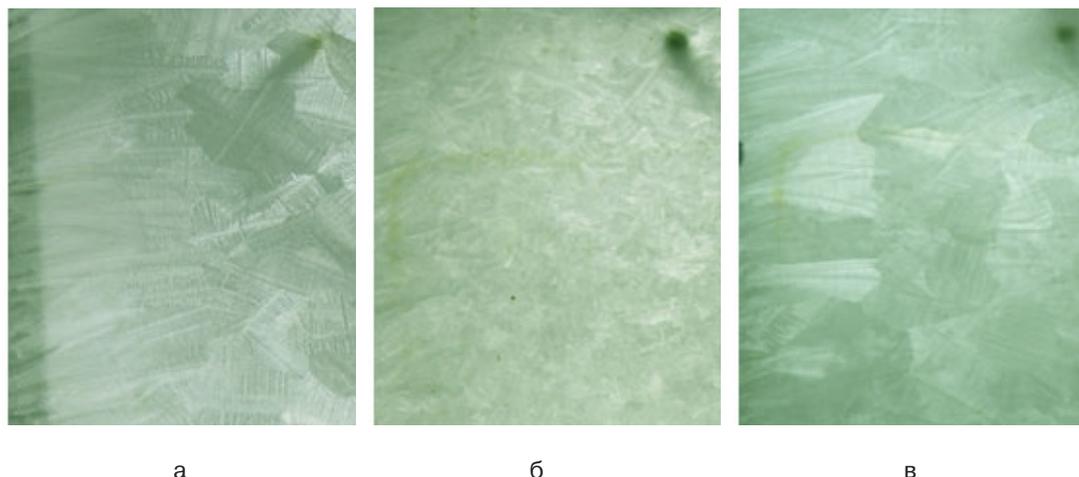


Рис. 3. Макроструктуры опытных слитков камфена в зависимости от условий эксперимента: а – чистый камфен; б – камфен с добавками парафина (2%); в – камфен с добавками циклогексанола (2%)

Учитывая, что при затвердевании камфена образуется дендритная структура, рассмотрим схему его формирования в спокойном расплаве и разрушения при действии вибрации на затвердевающий расплав (рис. 4). При спокойном расплаве в жидкой фазе вокруг дендрита растут тонкие ветви второго порядка (рис. 4, а). Ветви дендрита по мере кристаллизации становятся толще, а жидкая фаза этой ячейки остается малоподвижной. Температура по длине кристалла изменяется от температуры ликвидуса вдоль оси междендритного пространства до температуры солидуса у основания (рис. 4, а) [8].

При вибрационном воздействии жидкая фаза в ячейке дендрита совершает колебательное движение, а ветви дендрита под действием сил упругих волн разрушаются (рис. 4, б). В процессе кристаллизации температура по сечению ячейки выравнивается за счет перемешивания расплава, а в междендритном пространстве возникают новые зародыши кристаллов, которые под действием колебательного движения переходят в незатвердевшую область слитка, где они становятся центрами кристаллизации. В результате вокруг каждого обломка дендрита возникает переохлаждение расплава (ΔT_0), степень которого можно определить из равенства [9]:

$$\Delta T_0 = \frac{(\sigma_{т-ж} T_{лик})}{r \rho g_{кр.}}$$

где $T_{лик}$ – температура ликвидуса расплава; $\sigma_{\delta-a}$ – поверхностное натяжение на межфазной границе; ρ – плотность расплава; $g_{кр.}$ – теплота кристаллизации расплава; r – радиус обломка дендрита.

Это равенство показывает, что переохлаждение расплава вокруг обломка дендрита тем выше, чем меньше его размеры. Соответственно, с повышением разрушающей эффективности вибрации растет количество обломков дендритов и, как следствие, увеличивается степень переохлаждения жидкой фазы, что, в свою очередь, является катализатором роста скорости зародышеобразования. Кроме этого, вибрационное перемешивание интенсифицирует теплообменные процессы между затвердевающим расплавом и теплоотводящими стенками формы. В результате суммарного воздействия этих двух вибрационных эффектов на процессы кристаллизации испытуемого расплава заметно сокращается общее время его затвердевания [1, 7, 9, 13-15].

Вибрационное воздействие на процессы кристаллизации и формирования структуры чистого камфена достаточно глубоко изучено нами в более ранних работах [7-9, 13-15], поэтому в данных экспериментах наше внимание было направлено на исследование одновременного влияния на эти процессы вибрации и растворимых примесей (модификаторов II рода). В результате этого было установлено, что средняя скорость роста кристаллов кам-

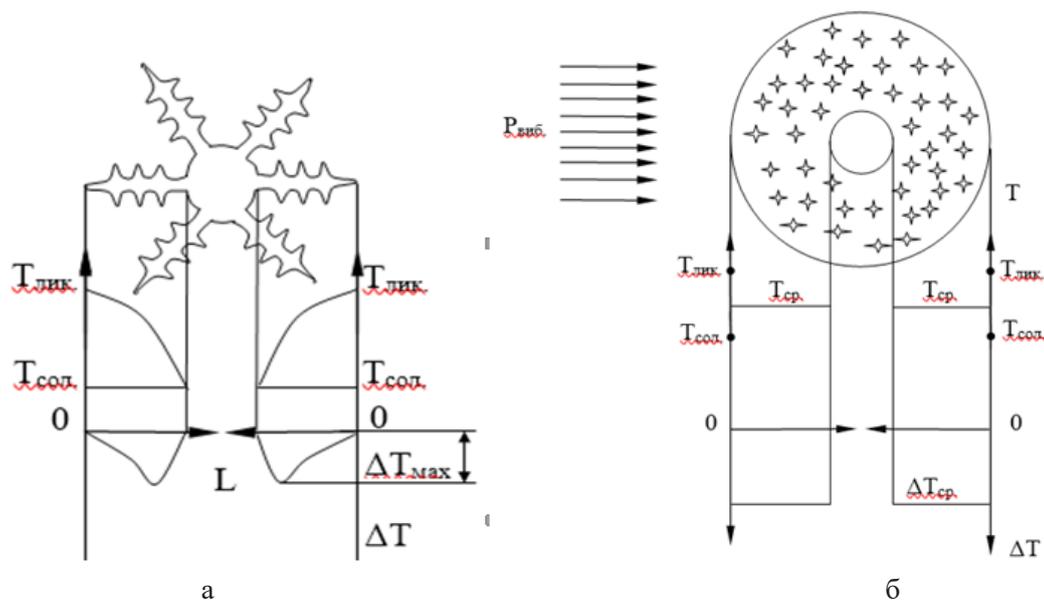


Рис. 4. Схема формирования дендрита в спокойном расплаве (а) и под действием сил упругих волн (б) [9]

фена существенно зависит от обоих способов воздействия на затвердевающий расплав (рис. 5). Из этого рисунка видно, что эффективность воздействия вибрации на этот параметр кристаллизации для чистого камфена существенно выше, чем для расплава с примесями. Для металлургической практики это означает, что модифицирующий эффект от воздействия вибрации для чистых металлов будет заметно выше, чем для их сплавов.

Как было отмечено выше (рис. 4), под действием сил упругих волн происходит обламывание ветвей дендритов, а кавитация вызывает увеличение центров кристаллизации в объеме расплава. В результате совокупного действия этих двух факторов линейная скорость роста отдельных кристаллов значительно уменьшается. Если концентрацию примесей (особенно парафина) увеличить более 1%, то эффект воздействия вибрации ощутимо снижается (рис. 5). Изменение скорости затвердевания камфена, как видно из сравнения этих кривых, больше зависит не от параметров вибрационного воздействия, а от количества добавленных в расплав примесей (сказывается эффект модифицирования). Наибольший эффект от комбинированного воздействия упругих волн и модифицирования наблюдается при добавлении в камфен более 2% добавок и его вибрации

с частотой 95 Гц. В этом случае общее время затвердевания модельного слитка уменьшается в 1,5 раза, хотя линейная скорость роста отдельных кристаллов в затвердеющем расплаве падает.

При вибрационном воздействии затвердевающего слитка, как правило, в процессе формирования его структуры из-за разрушения упругими волнами фронта кристаллизации на боковых гранях слитка образуется незначительной толщины корочка. Благодаря этому происходит интенсивный теплоотвод от фронта кристаллизации, а толщина вертикальной зоны опускающихся вниз мелких кристалликов растет. В этих условиях по всему сечению и высоте слитка образуется мелкодисперсная равномерная кристаллическая структура, которая характерна для объемного затвердевания. Полученные под действием вибрации дисперсные кристаллические структуры опытных слитков из чистого камфена и камфена с модифицирующими примесями получают практически одинаковыми и сравнительной оценке невооруженным глазом не поддаются.

Выводы. Наличие модифицирующих растворимых примесей оказывает на процесс затвердевания камфена такое воздействие, которое вызывает формирование в его расплаве примесных кластеров с характеристиками

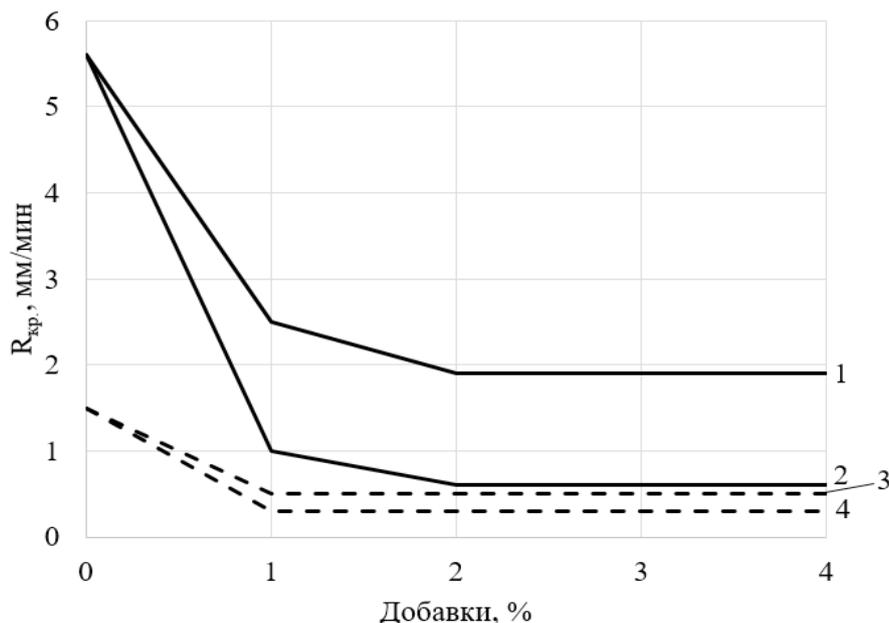


Рис. 5. Изменение линейной скорости роста кристаллов модельного сплава в зависимости от содержания вводимых примесей и воздействия вибрации:
 1, 3 – камфен + циклогексанол; 2, 4 – камфен + парафин; 1, 2 – в спокойном состоянии;
 3, 4 – под действием вибрации с частотой 95 Гц и амплитудой 1 мм

ближнего порядка, наиболее соответствующими готовым центрам кристаллизации, чем у сплава без добавок. Вместе с уменьшением поверхностного натяжения на границе переохлажденного расплава и кристалла, эти примеси снижают порог энергии, необходимой для формирования критического зародыша. Тем самым примеси провоцируют увеличение скорости зародышеобразования и вносят значительный вклад в процесс образования более дисперсной структуры слитков. Вибрационное воздействие на расплав чистого камфена и камфена с примесями приводит к раз-

рушению кристаллов на фронте кристаллизации и в объеме расплава за счет сил упругих волн и кавитации, в результате чего происходит дальнейшее измельчение кристаллической структуры слитков.

Закономерности воздействия вибрации и модифицирующих примесей на формирование кристаллической структуры, изученные на модельном материале, могут быть использованы для определения эффективных параметров воздействия на кристаллизацию и формирование структур литых заготовок из реальных металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахтаев С. С.-С., Нурадинов А. С., Нахаев М. Р., Уздиева Н. С. Внешние физические воздействия как фактор управления формированием структуры и свойств крупных стальных слитков // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2021. Т. 17. №2 (24). С. 18-34.
2. Базин Ю. А., Баум Б. А. О механизме модифицирования сплавов растворимыми добавками // Цветные металлы. 1994. №7. С. 55-58.
3. Базин Ю. А., Медведев Б. А., Баум Б. А. Взаимосвязь структуры ближнего порядка и кинематической вязкости расплавов ванадия в железе // Украинский физический журнал. 1991. Т. 36. №2. С. 220-222.
4. Баландин Г. Ф. Формирование кристаллического строения отливок. М.: Машиностроение, 1979. 288 с.
5. Борисов В. Т. Теория двухфазной зоны металлического слитка. М.: Metallurgia, 1987. 224 с.
6. Ефимов В. А., Эльдарханов А. С. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов. М.: Metallurgia, 1995. 272 с.

7. Найдек В.Л., Эльдарханов А.С., Нурадинов А.С. и др. О механизме воздействия вибрации на кристаллизацию и структурообразование сплавов // Литейное производство. 2003. №9. С. 13-15.
8. Нурадинов А.С., Нахаев М.Р. Процессы кристаллизации и формирования структуры литых заготовок. Грозный: Изд-во ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет», 2020. 170 с.
9. Нурадинов А.С. Управление формированием структуры металлических заготовок путем теплосиловых воздействий на затвердевающие сплавы. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. К., 2007. 324 с.
10. Овсиенко Д.Е. Зарождение и рост кристаллов из расплава. Киев: Наукова Думка, 1994. 256 с.
11. Смирнов А.Н., Пилюшенко В.Л., Момот С.В. и др. Эффект скачкообразного изменения фазового состояния затвердевающего расплава при воздействии низкочастотной вибрации // Metallurgical and Mining Industry. 2003. №4. С. 17-20.
12. Скворцов А.А., Акименко А.Д., Улянов В.А. Влияние внешних воздействий на процесс формирования слитков и заготовок. М.: Metallurgy, 1991. 216 с.
13. Уздиева Н.С., Ахтаев С.С., Эльмурзаев А.А., Нурадинов А.С. Влияние теплофизических условий затвердевания стальных слитков на их химическую неоднородность // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2021. Т. 17. № 1 (23). С. 26-37.
14. Эльдарханов А.С., Ефимов В.А., Нурадинов А.С. Процессы формирования отливок и их моделирование. М.: Машиностроение, 2001. 208 с.
15. Nuradinov A. S., Nogovitsyn A. V., Nuradinov I. A. and others. Research of possibility of control of the formation of crystal structure of metal alloys // Science and innovation. 2020. № 16 (4). P. 67-73.

CONTROLLING THE PROCESSES OF CRYSTALLIZATION AND STRUCTURE FORMATION OF INGOTS BY EXTERNAL PHYSICAL AND CHEMICAL INFLUENCES ON LIQUID AND SOLIDIFYING METAL

© S-S. Akhtaev, N. S. Uzdieva, A. S. Nuradinov, A. A. Elmurzaev

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

The quality and physical and mechanical characteristics of cast metal are mainly determined by the conditions under which its crystallization and structure formation occur. In this paper, an attempt was made to control the processes of crystallization and structure formation of experimental ingots by means of external influences on liquid and solidifying metal by means of physical modeling.

Vibration was used as an external physical method of influencing the processes under study, and soluble impurities (modifiers of the second kind) were used as a chemical method.

Based on the results of physical modeling, it was found that the introduced soluble impurities, reducing the surface tension at the "crystal – super cooled liquid" interface, reduce the work of formation of a critical nucleus. As a result, the rate of nucleation in the solidifying melt noticeably increases and, as a result, a finer-grained crystalline structure of the experimental ingots is formed.

Vibration treatment of a solidifying melt of a model medium, regardless of its purity (with or without impurities), ensures the formation of a fine-grained crystalline structure of experimental ingots due to the destruction of the crystallization front under the action of elastic wave forces and the dispersion of free crystals in the melt volume due to the development of cavitation.

The regularities of the influence of the methods of external physical and chemical influence on the processes of formation of their structures established on experimental ingots, taking into account the criteria and scales of modeling, can be used in the development of optimal technological parameters for pouring real metals.

Keywords: camphene, melt, type II modifier, vibration, nucleation, crystallization, structure formation, ingot.

REFERENCES

1. Akhtaev, S. S-S., Nuradinov, A. S., Nakhaev, M. R. and Uzdieva, N. S. (2021). 'External physical influences as a factor in controlling the formation of the structure and properties of large steel ingots', *Herald of GSTOU, Technical sciences*, Vol. 17, №2 (24), pp. 18-34.
2. Bazin, Yu.A. and Baum, B. A. (1994). 'On the mechanism of modification of alloys with soluble additives'. *Tsvetnye metally*, Vol. 7, pp. 55-58.
3. Bazin, Yu.A., Medvedev, B. A. and Baum, B. A. (1991), 'Relationship between the short-range order structure and the kinematic viscosity of vanadium melts in iron'. *Ukrainian Journal of Physics*, Vol. 36, №2, 220p.
4. Balandin, G. F. (1979). Formation of the crystal structure of castings. Mashinostroenie, Moscow, 288 p.
5. Borisov, V. T. (1987). Theory of a two-phase zone of a metal ingot. Metallurgy, Moscow 224 p.
6. Efimov, V. A. and Eldarkhanov, A. S. (1995), 'Physical methods of influencing the processes of solidification of alloys'. Metallurgy, Moscow, 272 p.
7. Naidek, V. L., Eldarkhanov, A. S., Nuradinov, A. S. and others (2003). 'On the mechanism of vibration impact on the crystallization and structure formation of alloys', *Foundry*, №9, pp. 13-15.
8. Nuradinov, A. S. and Nakhaev, M. R. (2020). *Processes of crystallization and formation of the structure of cast blanks*. Publishing House of the Chechen State University, Grozny 170 p.
9. Nuradinov, A. S. (2007). Control of the formation of the structure of metal billets by means of thermal and force effects on solidifying alloys, Abstract of D. Sc. dissertation, 324 p.
10. Ovsienko, D. E. (2003). Origin and growth of crystals from the melt, Kyiv, Naukova Dumka, 256 p.
11. Smirnov, A. N., Pilyushenko, V. L., Momot, S. V. and others (2003). 'Effect of abrupt change in the phase state of a solidifying melt under the influence of low-frequency vibration'. *Metallurgical and mining industry*, №4, pp. 17-20.
12. Skvortsov, A. A., Akimenko, A. D. and Ulyanov, V. A. (1991). Influence of external influences on the process of formation of ingots and blanks, Metallurgy, Moscow, 216 p.
13. Uzdieva, N. S., Akhtaev, S. S-S., Elmurzaev, A. A. and Nuradinov, A. S. (2021). 'Influence of thermophysical conditions of solidification of steel ingots on their chemical heterogeneity'. *Herald of GSTOU. Technical Sciences*. Vol. 17, №1 (23), pp. 26-37.
14. Eldarkhanov, A. S., Efimov, V. A. and Nuradinov, A. S. (2001). 'Casting formation processes and their modeling', Mashinostroenie, Moscow, 208 p.
15. Nuradinov, A. S., Nogovitsyn, A. V., Nuradinov, I. A. and others (2020). 'Research of the possibility of control of the formation of crystal structure of metal alloys'. *Science and innovation*, №16 (4), pp. 67-73.

ОБРАБОТКА НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ ЭКСТРАКЦИЕЙ РАСТВОРИТЕЛЕМ

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

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

На сегодняшний день нефтеперерабатывающие заводы России производят огромное количество нефтяных отходов, в том числе и нефтешламы. Этот нефтешлам трудно поддается биологическому разложению, содержит большое количество сырой нефти, и его трудно транспортировать и перерабатывать.

Нефтесодержащий шлам является опасным отходом, оказывающим негативные последствия, если его не обработать и не утилизировать должным образом. Негативные последствия могут проявляться в трех аспектах. Улетучивание нефтяных компонентов в нефтешламах приведет к избыточной концентрации общих углеводородов в воздухе окружающих территорий. Неправильно обработанный нефтесодержащий шлам загрязняет поверхностные воды, даже грунтовые воды, и приводит к серьезному превышению нормы концентрации и нефтяных веществ в воде. Нефтесодержащий шлам содержит большое количество токсичных и вредных органических соединений, таких как углеводороды, фенолы, соединения антраценового и бензольного колец. Некоторые вещества обладают канцерогенным, тератогенным и мутагенным действием на окружающую среду. Поэтому нефтешлам внесен в Национальный список опасных отходов.

Целью данной работы является обработка этого маслянистого шлама путем экстракции растворителем, чтобы разделить этот шлам на многие компоненты, с которыми легко работать и извлечь ценную сырую нефть. В работе используются различные виды растворителей: легкая нефть, тяжелая нефть, керосин, бензин, метилэтилкетон. Результаты показывают, что метилэтилкетон обеспечивает эффективность экстракции сырой нефти 95%, отделение твердого вещества 24% и отделение воды 94% при температуре 60 °С.

Ключевые слова: маслянистый шлам; отходы нефтепереработки; экстракция растворителем.

Формат цитирования: Цамаева П. С., Эльмурзаев А. А., Тарамов Ю. Х. Обработка нефтесодержащих шламов экстракцией растворителем // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIX, № 3 (33). С. 42-49. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.94.19.005

Введение.

В результате увеличения энергопотребления внимание было направлено на поиск альтернативных источников энергии, путей устойчивого развития и переработки, а также на снижение энергопотребления с целью сохранения окружающей среды. Нефтяная промышленность производит огромное количество загрязняющих веществ, некоторые из которых токсичны. Среди этих загрязняющих веществ наиболее распространенные и трудно поддающиеся переработке – нефтесодержащие шламы, содержащие большое количество сырой нефти. Нефтешлам представляет собой устойчивую эмульсию воды в масле, содержит твердые частицы, маслянистые углеводороды и металлы различного состава, что представ-

ляет большую опасность для окружающей среды. Большое количество нефтешламов образуется при эксплуатации, транспортировке, хранении и переработке сырой нефти [1].

Существует ряд известных методов для переработки нефтешламов. К традиционному методу утилизации нефтешлама принято относить среднетемпературный пиролиз. Технология пиролиза относится к методу нагрева нефтесодержащего шлама в условиях микроположительного давления без доступа кислорода с целью отделения масла и органических веществ, а также разделения нефтешлама на остаток пиролиза. Процесс термической трансформации нефтешлама можно разделить на две стадии: первая стадия называется испарением. При температуре ниже 350°C легкие

углеводороды с низкой температурой кипения будут испаряться из нефтесодержащего шлама. Вторая стадия называется параллельно-последовательной реакцией. Реакция пиролиза будет происходить на тяжелом масле, когда температура превысит 350 °С, а углеводороды будут генерировать свободные радикалы из-за термической активации при около 400 °С. При этом произойдет ряд свободнорадикальных реакций [2], [3]. С одной стороны, они направлены на процесс пиролиза образования низкомолекулярных углеводородов, а с другой – на процесс конденсации образования углерода коксования. Наконец, производятся нефть, вода, неконденсируемый газ и твердый кокс. Однако пропорция вещей незначительно меняется при изменении условий реакции. По сравнению с методом сжигания, выброс токсичных веществ в процессе пиролиза нефтесодержащего шлама намного ниже, чем в процессе сжигания. Тяжелые металлы и другие загрязнители в нефтешламах могут быть обогащены и закреплены в твердых остатках, что значительно снижает степень загрязнения окружающей среды. Жидкий продукт, полученный в процессе пиролиза, имеет хороший эффект снижения емкости и удобен для хранения и транспортировки [4]. Полученное сырье можно сразу применять в дизельных двигателях. Углеродсодержащий твердый остаток также можно повторно использовать в качестве адсорбента, флокулянта, улучшителя почвы и т. д. Таким образом, метод пиролиза действительно реализует «превращение отходов в сокровища» и эффективно извлекает и использует ресурсы. Однако нефтешлам обычно содержит большое количество воды, и стоимость процесса обезвоживания перед пиролизом высока. Кроме того, температура реакции пиролиза и потребление энергии высокие, а требования к оборудованию строги. В настоящее время технология все еще находится на стадии лабораторных испытаний, и связанная с ней технология нуждается в дальнейшем совершенствовании [5], [6].

Многие страны отнесли нефтешлам к опасным отходам из-за большого количества опасных компонентов. Некоторые методы очистки

широко изучались и применялись, включая химическую экстракцию, термическую десорбцию, микроволновую обработку, сжигание и микробную деградацию. Однако маслянистый шлам, который остается после кондиционирования и разделения твердой и жидкой фаз, обычно имеет высокое содержание влаги и низкое содержание масла (например, сырая нефть 1,8 мас.%, вода 65,8 мас.%). Вода в основном существует в виде связанной воды, эмульгированной воды и небольшого количества свободной воды [7], [8]. 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, которая представляет собой систему вода в масле, масло в воде или дисперсионную систему с несколькими типами эмульгирования. Свободная вода относится к воде, которая может течь свободно [9].

Физические свойства нефтешлама значительно различаются в зависимости от его состава. Состав нефтешлама и его физико-химические свойства зависят от источника и состава сырой нефти, очистных сооружений и добавок, используемых в процессах нефтепереработки. Это желатин, полутвердый материал, обладает высокой вязкостью и представляет собой эмульсию, содержащую 15-50% углеводородов, 30-85% воды, а количество твердых веществ может составлять 4-46%. Алифатические и ароматические соединения могут достигать 75% углеводородных соединений.

Р. Р. Ибатулин, И. И. Мутин изучали эффективность гексана, пентана, бензола, гептана и эфира при извлечении нефти из нефтешламов НПЗ с учетом влияния наиболее важных параметров, влияющих на процесс экстракции. Они обнаружили, что гептан дает лучшее разделение твердых частиц [10].

Ф. М. Гумеров, В. Ф. Хайрутдинов изучали экстракцию углеводородов из донных отложений резервуаров для сырой нефти сверхкритическим этаном. Эксперименты проводились при изменении давления и температуры. Выход извлекаемой углеводородной фракции увеличивался с увеличением извлечения давле-

ния при постоянной температуре и уменьшалось с увеличением температуры экстракции при постоянном давлении [11].

А. А. Калимуллин использовал нефть, гептан, керосин, метилендихлорид, этилендихлорид, диэтиловый эфир и толуол для извлечения масла из сухого и полусухого нефтесодержащего шлама. Полученное извлечение нефти варьировалось от 80% до 97% в зависимости от количества нефти в шламе и эффективности растворителя, используемого для экстракции. А также был проведен ряд исследований по определению наиболее эффективных растворителей ацетона, дихлорметана, н-гексана и их смесей для извлечения полиароматических углеводородов (ПАУ) нефтяного шлама. Результаты показали, что бинарная смесь растворителей ацетонат-гексан в соотношении 1:1 была наиболее эффективным растворителем и давала наибольшее количество всех выбранных ПАУ, экстрагированных из нефтяного шлама. Сочетание экстракции растворителем и замораживание с оттаиванием исследовали японские ученые, для извлечения нефти из высоковлажных сточных вод нефтеперерабатывающих заводов с использованием циклогексана, дихлорметана, метилэтилкетона, этилацетата и 2-пропанола (2-Pro) [12].

Есть ряд ученых, которые в своей работе пытались извлекать углеводороды из нефтешлама с помощью жидкостной экстракции метилэтилкетона (МЭК) и толуолом в качестве полярных и неполярных растворителей и сравнивали друг с другом. Результаты показали 30,41 и 37,24% извлечения углеводородов для МЭК и толуола соответственно. Английский исследователь использовал нефтешлам из нижнего резервуара процесса отгрузки для извлечения мазута с использованием нескольких методов экстракции. Он использовал метилэтилкетон при различных рабочих температурах от комнатной до 50 °С и различные соотношения растворителя и осадка. Максимальное извлечение достигло 62,2% [13].

В данной работе мы решили провести процесс экстракции, с использованием различных растворителей, для нефтешлама из Татарстана. Место отбора – амбар (змеевик).

Экспериментальная часть

Материалы и инструменты

Легкая нефть, тяжелая нефть, керосин, бензин и метилэтилкетон. Все эксперименты проводились с использованием бутылочного метода испытаний.

Нефтяной шлам был получен от компании по оказанию экологических услуг в республике Татарстан. Этот шлам мы предварительно обработали, чтобы удалить большую часть твердых частиц и воды. В процессе предварительной обработки сырой шлам нагревался паром, чтобы можно было удалить твердые частицы с помощью гидроциклона и центрифуги. Затем большая часть воды декантируется после того, как суспензия осела. После сбора осадок хранили при комнатной температуре, которая оставалась в пределах от 22 °С до 24 °С на протяжении всего исследования. Осадок тщательно перемешивали вручную перед отбором каждой пробы, поскольку характеристики и состав осадка могут меняться с каждой загрузкой, для данного исследования было получено достаточное количество от одной партии. Также из-за большой вариации между различными нефтешламами результаты этой работы можно рассматривать только в относительных величинах, разные шламы на нефтяной основе будут давать разные численные результаты, но отношения должны быть схожими.

Общий состав шлама определяли путем нагревания образца при температурах, достаточных для удаления целевых компонентов. Содержание воды в шламе определяли путем нагрева примерно 10 г шлама до 100 °С в электрической муфельной печи в течение 1 часа. Масса, потерянная образцом, была отнесена на счет потери влаги. Количество органического материала в иле определяли путем нагревания примерно 5 г ила до 600 °С в течение 1 часа. Оставшийся материал, включающий осадок и золу, взвешивали. Масса, потерянная образцом, была приписана влаге и органическому материалу.

Присутствие осадка и золы в осадке создавало трудности при определении физических свойств осадка. Это потребовало некоторой модификации нескольких стандартных мето-

дов. Остаток углерода и содержание асфальтенов в виде нерастворимых в гептанах веществ были изменены путем вычитания количества осадка и золы из количества остатка, наблюдаемого в стандартном методе. Удельный вес измеряли стандартным методом.

Было взято 20 граммов маслянистого нефтешлама, затем, добавляя различные объемы растворителя (5-80 см³), смесь перемешивали мешалкой при 300 об/мин в течение 20 минут. Затем смесь оставляли на 3 часа, обеспечивая гравитационное разделение компонентов ила. Проводилась фильтрация. Определялся влажный вес (Мв), который равен весу фильтровальной бумаги с твердыми частицами и влагой за вычетом веса сухой фильтровальной бумаги. Фильтровальную бумагу и накопившиеся твердые частицы сушили при 60°C.-С в течение 24 часов, после чего получили сухую массу твердых веществ (Мс). Воду, масло и растворитель разделяли с обратным холодильником и определяли объемы этих жидкостей. Вышеуказанные шаги повторялись для приведенных растворителей индивидуально в пределах температуры от 40 до 60 °С

Результаты по эксперименту

Влияние объема растворителя на нефтеотдачу

Рисунок 1 представляет график влияния объема растворителя на нефтеотдачу при 60 °С. На этом рисунке показано, что извлеченная нефть увеличивается с увеличением объема

растворителя. Также очевидно, что МЭК дает самую высокую нефтеотдачу. По мере увеличения объема растворителя количество нефти, которое можно растворить, также увеличивается. Видно, что МЭК дает наибольшее извлечение (67,5%, 85% и 95% при 25, 40 и 60-С соответственно), а затем легкая нефтя. Это связано с тем, что растворимость зависит от типа растворителя.

Влияние температуры на нефтеотдачу

Результаты влияния температуры на нефтеотдачу для всех растворителей с использованием 80 см³ каждого растворителя нанесены на график 2. На этом графике показано, что нефтеотдачу увеличивается с повышением температуры, а МЭК дает самую высокую нефтеотдачу. С повышением температуры увеличивается пространство между молекулами растворителя, уменьшается вязкость растворителя и шлама и разрушается эмульсия.

Сравнение графиков 1 и 2 показывает, что улучшение нефтеотдачи при увеличении объема растворителя с 5 см³ до 80 см³ больше, чем соответствующее увеличение при повышении температуры от 25 °С до 60 °С для всех растворителей. Например, увеличение объема МЭК с 5 см³ до 80 см³ в 60 °С дает увеличение нефтеотдачи с 48% до 95%, при повышении температуры с 25 °С до 60 °С увеличит нефтеотдачу с 67,5% до 95%. Это сравнение показало, что объем растворителя оказывает большее влияние на нефтеотдачу по сравнению с тем-

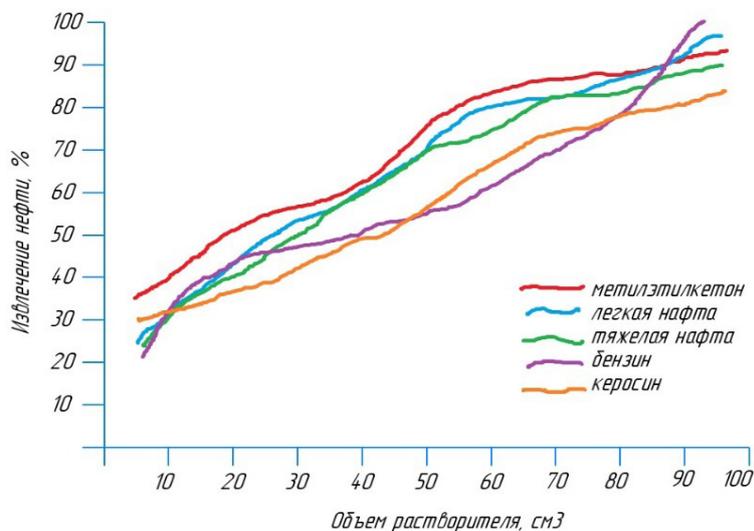


Рис. 1. Влияние температуры на водоотделение, объем растворителя 80 см³

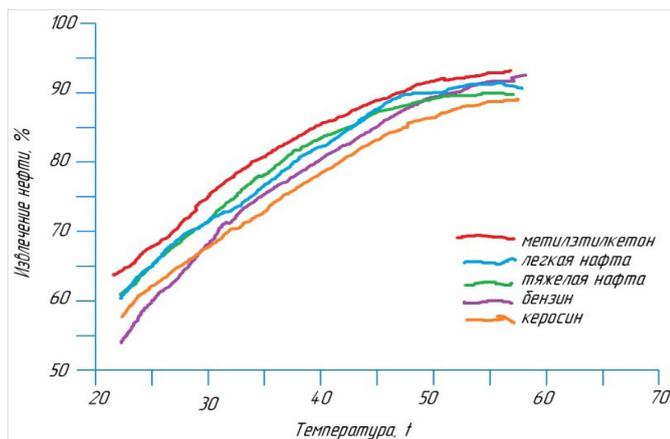


Рис. 2. График влияния температуры на нефтеотдачу, объем растворителя 80 см³

пературой. Это связано с тем, что увеличение объема растворителя обеспечит пространство между молекулами растворителя, готовыми растворить растворенное вещество, большее, чем дополнительное пространство, обеспечиваемое повышением температуры за счет увеличения промежутков или расстояния между молекулами растворителя.

Влияние объема растворителя на отделение воды

Рисунок 3 представляет результаты влияния объема растворителя на водоотделение при 60 °С. Установлено, что увеличение объема растворителя увеличивает отделение воды. Также МЭК дает лучшее отделение воды. Увеличение объема растворителя увеличит количество растворенного масла из шлама и снизит вязкость, что облегчит дестабилизацию эмульсии.

Влияние температуры на водоотделение

Результаты влияния температуры на водоотдел на 80 см³ объем растворителя, указанные на рисунке 4, указывают на то, что повышение температуры увеличивает отделение воды. Повышение температуры снизит вязкость и плотность шлама и растворителя, кроме того, увеличит кинетическую энергию капель воды и их столкновение друг с другом, что даст больше шансов разбить эмульсию и осесть агломерату. Если сравнить рисунок 3 и рисунок 4, можно заметить, что влияние объема растворителя на отделение воды больше, чем влияние температуры. Как правило, увеличение водоотделения при увеличении объема

растворителя с 5 см³ до 80 см³ для всех растворителей составляет около 25%, а соответствующее увеличение при повышении температуры от 25 °С до 60 °С составляет около 20%.

Заключение

По результатам исследований, согласно графикам, можно сделать вывод, что метилэтилкетон оказался лучшим растворителем среди протестированных в данной работе растворителей, он дает нефтеотдачу 95%, ПСР 24% и водоотделение 94%.

Экстракция растворителем МЭК – это простой и эффективный метод обработки, пригодный для повторного использования, который может эффективно разделить маслянистый шлам на пригодные для повторного использования углеводороды, более мелкие твердые и полутвердые остатки. Данным растворителем можно обрабатывать большое количество маслянистых осадков. Единственным минусом в применении данного метода очистки нефтешламов является слишком большой расход органических экстрагентов, а большое количество используемых органических растворителей может легко вызвать вторичное загрязнение. Думаем, что метод сверхкритической флюидной экстракции позволит эффективно снизить дозировку экстрагента и сократить время экстракции. Однако он не подойдет для крупномасштабного применения из-за жестких условий эксплуатации. Таким образом, в центре внимания будущих исследований находится поиск высокой эффективности.

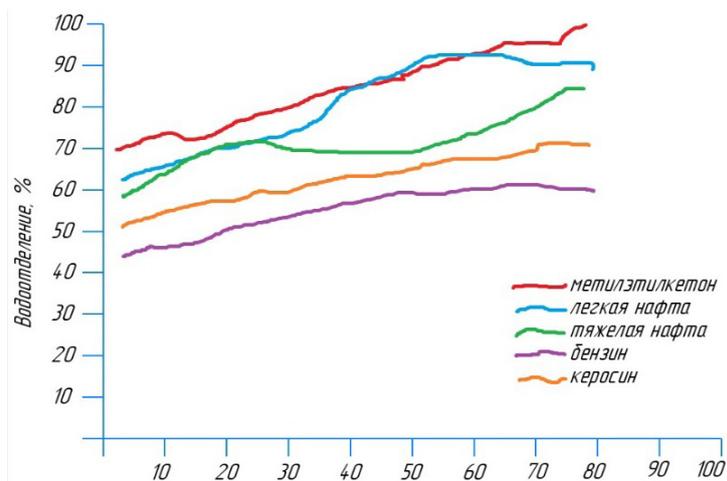


Рис. 3. Влияние объема растворителя на водоотделение при 60 °С

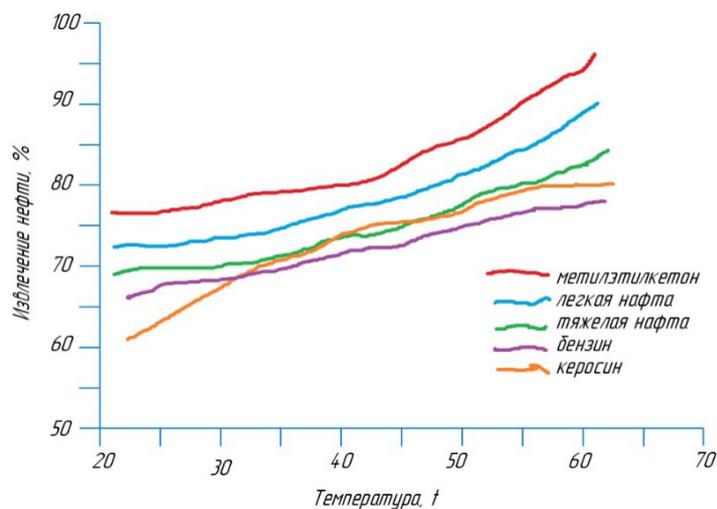


Рис. 4. Влияние температуры на водоотделение, объем растворителя 80 см³

ЛИТЕРАТУРА

1. Крюкова М.А. Утилизация нефтешлама // Горение и плазмохимия. 2014. №12 (12). С. 266-275.
2. Курочкин А.К., Тамм Т. Нефтешламы – ресурсное сырье для производства светлых моторных топлив и дорожных битумов // СФЕРА. Нефть и Газ. 2010. №4. С. 72-80.
3. Mrayyan B., Battikhi M. N. Biodegradation of total organic carbons (TOC) in Jordanian petroleum sludge // Journal of Hazardous Materials. 2005. V. 120. №1-3. P. 127-134. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2004.12.033.
4. Vasudevan N., Rajaram P. Bioremediation of oil sludge-contaminated soil // Environment International. 2001. V. 26. №5-6, P. 409-411. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11392759> (accessed 5.05.2001)
5. Bioremediation of oil sludge contaminated soil by landfarming with added cotton stalks / Wang S., Wang X., Zhang C., Li F., Guo G. // International Biodeterioration & Biodegradation. 2016. V. 106. P. 150-156. DOI: 10.1155/2018/9264259.
6. Хайдаров Ф.Р., Хусаев Р.Н., Шайдаков В.В., Каитанова Л.Р. Нефтешламы. Методы переработки и утилизации: монография. Уфа, 2003. 74 с.
7. Мохит М.А., Газбан Ф., Омидвар Б. Оптимизация важных параметров извлечения углеводородов из отработанного нефтешлама путем экстракции растворителем с использованием смеси растворителей. Пекин, 2020. 407-435 с.
8. Танатаров М.А. и др. Опыт утилизации нефтешламов ЛПДС «Черкассы» // Промышленные и бытовые отходы. Проблемы и решения: Мат. конф. Ч. 1. Уфа, 1996.
9. Баширов В.В. и др. Техника и технология поэтапного удаления и переработки амбарных шламов. М., 1992.
10. Заин А.М., Шаабан М.Г., Махмуд Х. Влияние материалов – заменителей цемента на гидратацию нефтяного шлама в ОРС // Ключевые инженерные материалы. Уфа, 2008. 594-595 с.
11. Ибатуллин Р.Р. Исследование свойств нефтешламов и способы их утилизации / Р.Р. Ибатуллин, И.И. Мутин, М.Н. Исхакова, К.Г. Сахабутдинов // Нефтяное хозяйство. 2006. №11. С. 116-118.
12. Гумеров Ф.М. Сверхкритическая флюидная пропан-бутановая экстракционная обработка нефтяных шламов / Ф.М. Гумеров, В.Ф. Хайрутдинов, Т.Р. Ахметзянов, Ф.Р. Габитов, З.И. Зарипов, М.И. Фарахов, А.В. Мухутдинов // Сверхкритические флюиды: теория и практика. 2016. Т. 11. №2. С. 75-83.
13. Калимуллин А.А. Полигоны утилизации нефтешламов – решение экологических проблем нефтяников / А.А. Калимуллин, Н.С. Волочков, В.М. Фердман // Экологическая и промышленная безопасность. 2003. №6. 100 с.

TREATMENT OF OIL-CONTAINING SLUDGES BY SOLVENT EXTRACTION

© P.S. Tsamaeva, A. A. Elmurzaev, Yu. Kh. Taramov

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

Today, oil refineries in Russia produce a huge amount of oil waste, including oil sludge. This oil sludge is difficult to biodegrade, contains large amounts of crude oil and is difficult to transport and process.

Oil sludge is a hazardous waste that has negative consequences if it is not properly treated and disposed of. Negative effects can occur in three ways. The volatilization of oil components in oil sludge will result in excessive concentrations of total hydrocarbons in the air of surrounding areas. Improperly treated oily sludge will contaminate surface water, even groundwater, and result in serious over concentrations of oil substances in water as well. Oil-containing sludge contains large amounts of toxic and harmful organic compounds such as hydrocarbons, phenols, anthracene and benzene ring compounds. Some substances have carcinogenic, teratogenic and mutagenic effect on the environment. That is why oil sludge is included in the National List of Hazardous Wastes.

The purpose of this work is to treat this oily sludge by solvent extraction in order to separate this sludge into many components that are easy to work with and extract valuable crude oil. Different kinds of solvents are used in the work: light naphtha, heavy naphtha, kerosene, gasoline, and methyl ethyl ketone. The results show that methyl ethyl ketone provides crude oil extraction efficiency of 95%, solid matter separation of 24% and water separation of 94% at 60 °C.

Keywords: oily sludge; oil refinery waste; solvent extraction.

REFERENCES

1. Kryukova, M. A. (2014). 'Recycling of oil sludge'. *Combustion and plasma chemistry*. N 12 (12). pp. 266-275.
2. Kurochkin, A. K. and Tamm, T. (2010). 'Oil sludge is a resource raw material for the production of light motor fuels and road bitumen'. *SPHERE. Oil and gas*. №4, pp. 72-80.
3. Mrayyan, B. and Battikhi, M. N. (2005). 'Biodegradation of total organic carbons (TOC) in Jordanian petroleum sludge'. *Journal of Hazardous Materials*. V. 120, №1-3, pp. 127-134. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2004.12.033.
4. Vasudevan, N. and Rajaram, P. (2001). 'Bioremediation of oil sludge-contaminated soil'. *Environment International*. V. 26, №5-6, pp. 409-411, available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11392759> (Accessed 5.05.2001)
5. Wang, S., Wang, X., Zhang, C., Li, F. and Guo, G. (2016). 'Bioremediation of oil sludge contaminated soil by landfarming with added cotton stalks'. *International Biodeterioration & Biodegradation*. V. 106, pp. 150-156. DOI: 10.1155/2018/9264259.
6. Khaidarov, F. R., Khisaev, R. N., Shaydakov, V. V. and Kashtanova, L. R. (2003). *Oil sludge. Methods of processing and disposal: monograph*. Ufa, 74 p.
7. Mohit, M. A., Ghazban, F. and Omidvar, B. (2020). *Optimization of important parameters for the recovery of hydrocarbons from waste oil sludge by solvent extraction using a mixture of solvents*. Beijing 2020, 407-435 pp.
8. Tanatarov, M. A. et al. (1996). 'Experience in recycling oil sludge from LPDS "Cherkassy"'. *Industrial and household waste. Problems and solutions: Mat. conf. Part 1*. Ufa.
9. Bashirov, V. V. and others. (1992). *Technique and technology for the phased removal and processing of pit sludge*. Moscow.
10. Zain A. M., Shaaban M. G. and Mahmud, H. (2008). 'Effect of cement substitute materials on hydration of oil sludge in OPC'. *Key engineering materials*. Ufa 2008, 594-595 p.
11. Ibatulin, R. R. Mutin, I. I., Iskhakova, M. N. and Sakhabutdinov, K. G. (2006). 'Study of the properties of oil sludge and methods of their disposal'/R.R. Ibatulin, *Oil Industry*. №11, pp. 116-118.
12. Gumerov, F. M. Khairutdinov, V. F., Akhmetzyanov, T. R., Gabitov, F. R., Zaripov, Z. I., Farakhov, M. I. and Mukhutdinov, A. V. (2016). 'Supercritical fluid propane-butane extraction treatment of oil sludge'. *Supercritical fluids: theory and practice*. V.11. №2. WITH. 75-83.
13. Kalimullin, A. A., Volochkov, N. S. and Ferdman, V. M. (2003). 'Oil sludge disposal sites – solving environmental problems of oil workers'. *Environmental and industrial safety*. №6. 100 p.

ГРОЗНЕНСКИЙ НИИ: КРЕАТИВНАЯ ИНДУСТРИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ВОЗРОЖДЕНИЯ ДЕПРЕССИВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

© С. А. Алиев, Е. Д. Терехова, И. С-А. Муртазаев, Х. А. Алиева
ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

Данная статья является второй частью научного исследования способа использования арт-кластера как приёма реабилитации для территорий промышленных зон, на примере Грозненского НИИ, Чеченской Республики. В статье раскрывается понятие «творческий кластер» и принципы использования типологии арт-кластера, как способа реабилитации промышленных зон на примерах отечественного и зарубежного опыта использования данного приёма. Были рассмотрены основные примеры, определения и термины, а также показатели, напрямую влияющие на процесс формирования арт-кластеров в промышленных территориях, а также рассмотрены условия для перехода индустриальных зон в пригодность для формирования арт-кластеров и определения его положения в современном социокультурном пространстве, о причинах популярности и возникновения площадок такого типа, в частности, в России.

Ключевые слова: Грозненский НИИ, арт-кластер, искусство, отечественный опыт, восстановление, промышленные территории, новые принципы архитектурного развития, зарубежный опыт.

Формат цитирования: Алиев С.А., Терехова Е.Д., Муртазаев И. С-А., Алиева Х.А. Грозненский НИИ: Креативная индустрия как инструмент возрождения депрессивных территорий городской среды // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIX, №3 (33). С.50-63. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.90.10.006

Актуальность. Арт-кластер – это современная типология строительства зданий и сооружений, посвященных культуре и искусству. Развитие индустрии творческих кластеров происходило стремительно. Арт-кластер может существовать как новая точка притяжения в городской среде и иметь свою полную обособленность и индивидуальность, а может использоваться как приём восстановления «депрессивных» территорий городской среды и полностью подстроиться под существующее строение. Феномен популяризации именно «Арт» и «культурных» типов кластеров объясняется тем, что культура является таким же двигателем прогресса, как и наука. Она образует, регулирует поведение, несет в себе ценности и отображает определенный образ общества. Искусство же, в свою очередь, является формой культуры. В современном прочтении культура набирает большую популярность и становится источником новых научных, технических, творческих достижений с большим финансовым потенциалом. Одним

из главных замыслов таких кластеров является преобразование пришедших в упадок и заброшенных территорий города в привлекательные общественные пространства. Данный способ основывается на исходном материале, строениях, которые требуют минимум действий для запуска нового проекта, нового городского пространства. Использование исторических или старых помещений позволяет вдохнуть новую жизнь в заброшенные постройки. Результатом такой деятельности является преобразование объектов индустриального наследия, чаще всего которые представляют собой историческую и культурную ценность, в комфортные центры притяжения людей, площадки с рекреационными зонами, образовательными проектами. А также увеличение числа новых рабочих мест и создание условий для развития культурного диалога. Проблемы бездействующих промышленных территорий и объектов вызывают повышенный интерес у девелоперов. Сама идея трансформации объектов и территорий, которые утратили свое прежнее

назначение, имеет огромный потенциал. Он, в свою очередь, может повлиять на многие сферы городской жизни: социальную, экономическую, экологическую.

Формирование подобных площадок привлекает креативную молодёжь, организации и галереи объединяют в себе площадки, которые используются для проведения как работы, так и свободного времени. Подобные пространства Европы, Азии и Америки уже достаточно давно зарекомендовали себя как серьезные конкуренты классическим музеям, галереям и домам культуры. В России организация арт-кластеров – относительно новый феномен на рынке недвижимости, который носит экспериментальный характер и реализуется преимущественно через ревитализацию – постепенное приспособление неликвидной недвижимости: старых заводов или фабрик, освободившихся в результате индустриализации.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанные мероприятия и предложения для реализации арт-кластера могут выступать как рекомендации для процессов их развития в России. В то же время исследование представляет ценность в вопросах создания новых условий для восприятия и приобщения общества к культурным ценностям и искусству на городских территориях в рамках арт-кластера.

Методы исследований. Для более глубокого понимания рассматриваемого вопроса необходимо обратиться к мировому опыту регенерации территорий через культурные проекты и необходимо рассмотреть механизм возникновения творческих кластеров. Самым подходящим методом изучения успешного использования арт-кластера, как способа реабилитации промышленных территорий, является изучение и систематический анализ реализованных и планируемых проектов по восстановлению территорий в городской среде и создание там подобного рода пространств, так как превращение промышленных зон в творческие пространства – тренд, уже давно распространившийся по всему миру, а в России сейчас набирающий обороты.

Сейчас становится понятно, что такие пространства, как арт-кластер, создают благоприятные условия для развития искусства, в связи с тем, что на территории арт-кластера регулярно проводятся фестивали и образовательные программы в сфере современного искусства, кинематографа, архитектуры и дизайна, а также благотворительные мероприятия. За счёт контакта между участниками проекта налаживается междисциплинарное взаимодействие между различными сообществами, поколениями и стилями. Отдельные галереи, музеи, выставочные залы и мастерские уже не справляются с появляющимися новыми практиками, где речь идет о принципиальной смене модели взаимодействия культурных институтов с обществом.

Поэтому в связи с малой изученностью темы современного искусства в структуре арт-кластера, данный опыт исследования способствует сбору информации, анализу перспектив развития и рентабельности, для использования данного метода реабилитации непосредственно на практике, в рамках региональных проектов, а конкретно для Чеченской Республики, и был бы ценен в регионе в связи с активно развивающимися проектами в сфере искусства и культуры. Исходя из этого, целью данной части исследования можно обозначить раскрытие потенциала арт-кластера как площадки для развития городской среды, в поиске возможностей новых форм и условий продвижения искусства в общественную среду, в выявлении перспективности создания арт-кластера для Чеченской Республики, на основе территорий бывших промышленных зон, пришедших в упадок. В контексте данной темы использование полученной информации будет рассматриваться в рамках определённой бывшей промышленной территории, находящейся в структуре республиканского центра, города Грозный. Данная территория (рис. 1) давно пришла в упадок и не имеет коэффициента полезного действия для городской среды. Данная территория является частью зоны научно-промышленного городка Грозненского НИИ, первое в СССР и одно из крупнейших в мире исследовательское учреждение в сфере



Рис. 1. Схема генерального плана территории Грозненского НИИ

нефтепереработки, где велись исследования и хранение продуктов нефтеперерабатывающей промышленности и является зоной с особыми условиями использования территории, имеющей в своём составе объект культурного наследия регионального значения.

Актуальность использования рассматриваемой территории обоснована тем, что по состоянию на 2021 год участок застройки является экологически благоприятным и полностью расчищен от строительного мусора и отходов переработки, не используется по назначению, имеет в своём составе объект культурного наследия, находящийся в аварийном состоянии, и занимает территорию, находящуюся в шаговой доступности от исторической и культурной части города Грозный, с хорошо развитой транспортной инфраструктурой (рис. 2).

При проведении анализа методики использования арт-кластеров как способа восстановления территорий основное внимание было уделено исследованию развития и функционирования арт-кластеров не только в центральном регионе, в городе, имеющем статус мегаполиса и являющемся столицей нашей страны – Москве, так как Москва считается центром развития арт-кластеров в России (рис. 3), но и в региональных городах, что особо важно в контексте рассматриваемой темы. Такими

городами являются Екатеринбург и Казань. Для проведения анализа также был привлечен мировой опыт следующих стран – Великобритании, Китая, Финляндии.

Зарубежный опыт. Поскольку данное явление зародилось на Западе во времена индустриализации, где и произошло соединение понятий «искусство» и «индустрия», объясняемое появлением новых технических средств, позволяющих тиражировать произведения искусства – фотография, репродукция, звукозапись и другие подобные средства. Таким образом индустрия сделала произведения искусства доступными широкому кругу людей и обращала их в предмет массового потребления. Размещение творческих кластеров на территориях промышленных зон стало практиковаться к концу 70-х годов XX века, когда промышленные пространства, заводы и фабрики Европы в результате перереформирования или переноса производства начали терять свою значимость и перестали использоваться по прямому назначению. Зато заводские площади дали пространство воображению, позднее это явление перекинулось на весь мир. В связи с нарастанием данного процесса с течением времени и его успешного развития необходимо изучить мировой опыт предпосылок и причин формирования арт-кластеров, выявить схожие черты и различия с отечественными арт-практиками.

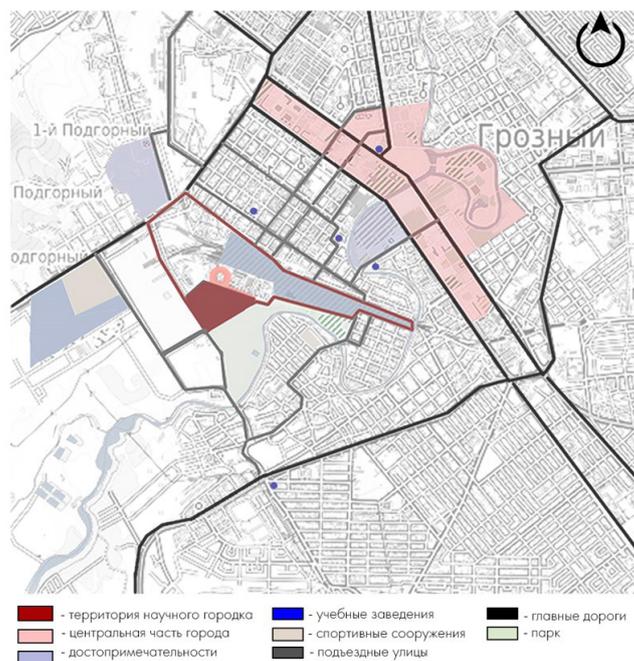


Рис. 2. Схема расположения территории Грозненского НИИ относительно городской инфраструктуры

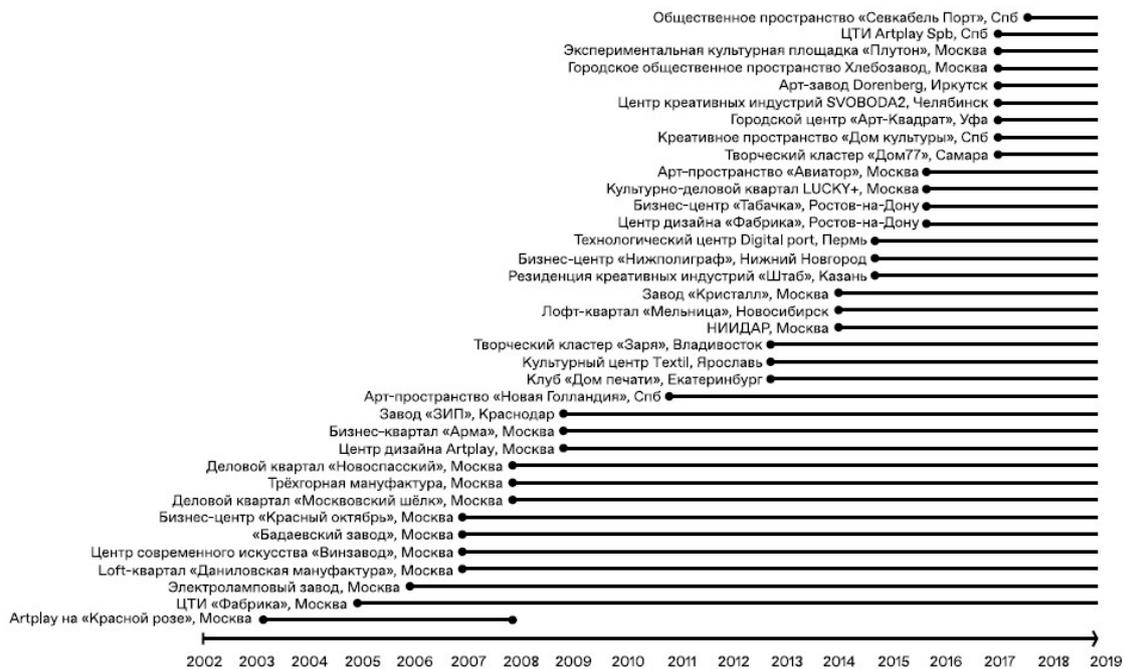


Рис. 3. Схема размещения основных креативных кластеров на бывших промышленных территориях г. Москвы

Особое внимание стоит обратить на развитие и становление арт-кластеров в Великобритании, которая является одной из основоположников развития искусства на индустриальных площадках. На данном этапе в Великобритании целые города, такие как Ливерпуль, Манчестер и Шеффилд, обладающие огромным промышленным потенциалом, стали местом, где промышленные кварталы превратились в арт-кластеры. Образовались целые центры, где разместилось множество независимых небольших творческих компаний, была создана привлекательная творческая среда и атмосфера при сотрудничестве и взаимодействии между различными структурами. О популярности этих «арт-кварталов» свидетельствует тот факт, что они стали соперничать по количеству посетителей с «официальным» городским центром. Развитие арт-кластеров вызвало положительный комплексный эффект, стимулировало подъем инновационного сектора экономики. Со временем творческих пространств стало настолько много, что была создана служба развития культурных индустрий – Cultural Industries Development Service (CIDS). Но несмотря на большое количество уже существующих кластеров, их количество не перестаёт расти. Так, в Британской столице будет расположен многофункциональный арт-кластер, расположенный в лондонском Ист-Энде. Это содружество независимых творческих компаний, нашедшее приют в здании бывшей пивоварни – Truman Brewery (рис. 4) и расположилась на месте его цехов, в которых через три столетия возникнет центр культуры и искусства. Сегодня «Старая пивоварня Трумана» (The Old Truman Brewery) привлекает людей со всего мира. На 11 акрах земли есть все: бары, рестораны, магазины, мастерские, пространства для выставок и конференций, а брутальные фабричные фасады, огромные цеха, склады и внутренние дворы словно специально строились для будущего перерождения.

С начала 2000-х годов многие города мира стали двигаться в направлении развития креативных индустрий как на региональном, так и на государственном уровне. Ярким тому при-

мером является реализация Финского проекта творческого кластера. Так, в Хельсинки, когда фирма «Nokia» перестала производить кабель, освободились огромные площади, и так появился арт-кластер «Cable factory» (рис. 5). Сейчас доход центру приносит субаренда, где помещениями пользуются художники-авангардисты и мастера народных промыслов, здесь же присутствует и большое помещение для проведения массовых мероприятий: концертов, выставок, презентаций, фестивалей, галерея современного искусства и небольшие выставочные залы.

В восточном полушарии лидирующую роль развития арт-кластеров занимает Китай, который сделал ставку на расширение сферы услуг и интенсивное культурное производство, обратившись за опытом к крупнейшим американским, канадским, европейским городам, используя их методы для привлечения инвестиций в туристическую среду с совокупностью с образованием культурных арт-кластеров. Одним из самых первых и известных арт-кластеров является «798 Art Zone» (рис. 6) в Пекине, расположенный на территории завода, пришедшего в упадок и построенного по программе советско-китайского военно-промышленного сотрудничества. Изначально Пекинская академия изящных искусств начала арендовать помещения этого и соседних заводов в качестве мастерских, а сегодня здесь уже на 1 квадратном километре находятся десятки выставочных залов, студий и галерей, магазины, кафе, рестораны и жилые помещения.

Из рассмотренных примеров можно сделать вывод, что в зарубежном опыте формирования арт-кластеров подтверждается тот факт, что институты культуры, коллективы, организации, объединяющиеся на одной территории, играют лишь преобразовательную функцию, функцию возрождения территории, и современное искусство является лишь малой частью таких кластеров. Тогда как в восточном направлении искусство активно приобретает национальный колорит и активно интегрируется в туристическую сферу. Мировой опыт свидетельствует, что если искусству и бизнесу предоставить на льготных условиях невостре-



Рис. 4. Пивоварня Трумана (Truman Brewery). Лондон



Рис. 5. Арт-кластер «Cable factory», Хельсинки



Рис. 6. Арт-кластер 798 Art Zone, Пекин

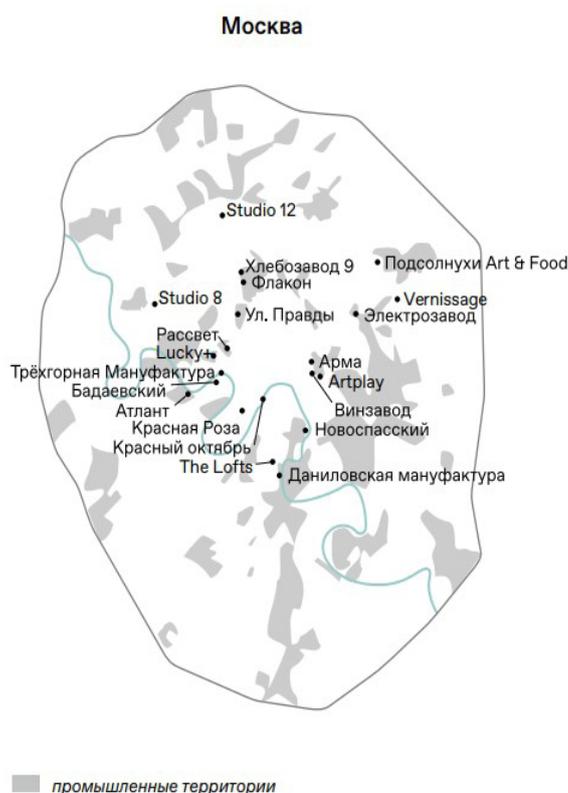


Рис. 7. Схема размещения основных арт-кластеров в г. Москве

бованные площади, обеспечить возможность сотрудничества и поддержки на каком-либо уровне, то арт-кластеры будут интенсивно развиваться.

Отечественный опыт. Европа опередила Россию в освоении старых промышленных территорий, имея в своей практике множество примеров. Однако развитие творческих пространств в нашей стране активно набирает обороты, так как Россия – это страна с богатейшим творческим потенциалом, который пока только находит условия и способы для его дальнейшего развития. В России креативный кластер – относительно новый феномен на рынке недвижимости, который носит экспериментальный характер и реализуется преимущественно через ревитализацию – постепенное приспособление неликвидной недвижимости: старых заводов или фабрик, освободившихся в результате деиндустриализации. Данный метод получил широкое распространение, так как Россия имеет большой индустриальный потенциал и обладает необ-

ходимыми территориальными и инфраструктурными ресурсами.

Появление первых кластеров в России относится к 2003-2008 годам: оно происходило на фоне бурного развития креативных индустрий. Толчком к этому буму стал резкий рост экономики страны и благосостояния населения. В этот период кластеры чаще формировались стихийно (рис. 7). Одним из самых первых городов России, начавших развивать потенциал творческих пространств, стала Москва, и такая сеть центров культуры и искусства развивается здесь уже на протяжении 20 лет. Большая часть арт-кластеров Москвы как раз занимают территории бывших промышленных производств, совершенно разнообразных по своему первоначальному предназначению и производственной ориентации. Такие кластеры, как ARTPLAY, «Красный Октябрь» и «Флакон», являются одними из первых реализованных проектов креативных пространств Москвы и сейчас приобрели многофункциональный уровень.

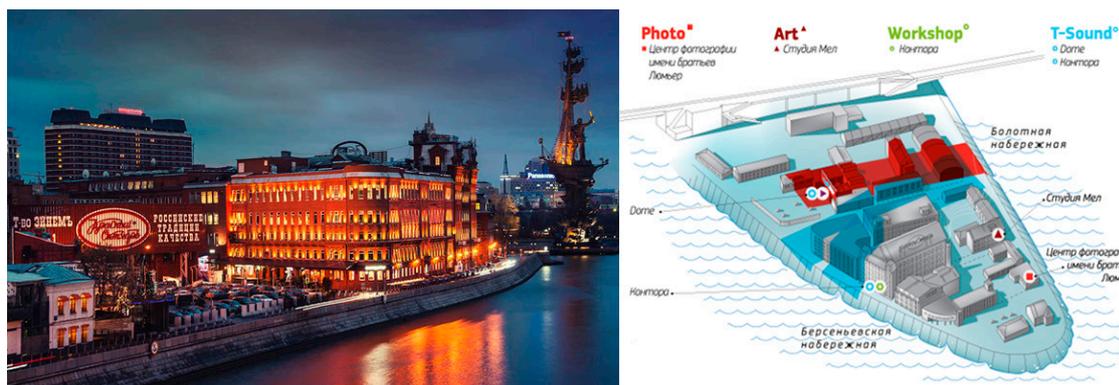


Рис. 8. Арт-кластер «ARTPLAY», Москва

ARTPLAY – это многофункциональный творческий креативный кластер, занимающий на сегодняшний день территорию завода «Манометр» (рис. 8).

Первопроходцами развития этого пространства стали архитектурные бюро, галереи и дизайн-студии – фактически ARTPLAY стал кооперативом единомышленников, возрождавших фабрику своими руками. Следующая волна развития шла уже по намеченной траектории: минимальные вложения на переустройство и ремонт пространства и приглашение ярких и креативных арендаторов на льготных условиях. Спектр направленностей настолько расширился, что к архитектуре и дизайну добавились образование и бизнес. Сейчас этот кластер собрал под своей крышей известных архитекторов, проектировщиков, дизайнеров, художников, инженеров, а также поставщиков и продавцов мебели, отделочных материалов и специального оборудования, стал местом для профессиональной деятельности, а также местом для проведения досуга, особым публичным пространством.

Следующим проектом креативных кластеров Москвы стал проект «Красный Октябрь» (рис. 9). В 2007 году, спустя продолжительное время после закрытия фабрики, в огромном комплексе промышленных зданий, на месте крупнейшей кондитерской фабрики, разместились культурные, образовательные, развлекательные и спортивные объекты. Среди них художественные и архитектурные галереи, выставочные залы, дизайнерские студии, спортивные центры. Проект кластера органич-

но вписался в городскую среду и стал богемным центром столицы. В павильонах, студиях, залах постоянно проходят международные встречи, конференции, презентации, концерты знаменитостей, организуют художественные и архитектурные выставки. Формирование данного кластера произошло по тому же принципу, что и в предыдущем рассматриваемом примере: есть готовое пространство, куда интегрируется новая функция, с минимальным переоснащением и изменением внешнего облика, но с полным переустройством функционального назначения.

В случае двух уже рассмотренных примеров арт-кластеров, расположенных на промышленных территориях, находящихся в центральной части города Москвы, стоит обратить внимание на целый дизайн-завод «Флаконт» (рис. 11), возникший на территории бывшего хрустально-стеклянного завода, выстроенного за пределами исторической границы Москвы. Завод был ориентирован на парфюмерное производство, впоследствии дополнился выпуском аптекарского, строительного и промышленного стекла. Приспособление под дизайн-проект началось в 2009 году и осуществлялось минимальными средствами, нередко с участием арендаторов. Благодаря грамотной концепции функционального зонирования и эффективной реконструкции значительно увеличилась полезная площадь зданий и общественных пространств. «Флаконт» стал местом концентрации небольших «креативных» магазинов, кафе, офисов, мастерских и студий; платформой для развития молодых проектов, самовыраже-



Рис. 9. Арт-кластер «Красный Октябрь», Москва

ния творческих личностей и реализации социокультурных инициатив. Повседневная жизнь резидентов завода сочетается с насыщенной событийной программой, привлекающей постоянный поток посетителей.

Москва как правопреемница продолжает развивать креативную индустрию, в структуре города появляется всё больше творческих территорий культуры и искусства. Но немаловажным фактором является развитие данной индустрии и в регионах, которое началось значительно позже, чем в столице. По соотношению к общему числу площадок в Москве и Санкт-Петербурге процент региональных арт-кластеров значительно уступает (рис. 10). Хотя на данном этапе в современных реалиях как раз именно региональные центры и аутентичные города имеют больший потенциал для организации и успешного функционирования арт-кластера в своей структуре, используя его как метод привлечения инвестиций в развитие города, тем более некоторые региональные города обладают более весомым индустриальным запасом и имеют в своём составе достаточное количество бывших промышленных зон, не используемых по назначению.

Несмотря на то, что в региональных центрах, как правило, плотность творческой среды более низкая и потребительский рынок не столь насыщен, как в Москве, но это легко компенсируется наличием энтузиазма и благодарной публики, прежде всего в молодежной среде, которая не так насыщена различными культурными событиями, как столичное общество. В некоторых российских регионах местные власти активно идут навстречу развитию

арт-кластеров. Ярким примером арт-кластерной концепции является «Смена», расположенная в самом центре Казани, в кирпичном здании XX века, которое изначально использовалось как сенохранилище, а затем как складское помещение, на его основе в 2013 году и открылся кластер «Смена» (рис. 12). Миссия «Смены» – популяризация современного искусства и научного знания. Управление построено на горизонтальной системе разделения труда – у каждого сотрудника существуют обязанности по направлению деятельности и в то же время управленческие решения принимаются коллективно. Данный кластер не имеет постоянного частного или государственного финансирования, финансирование обеспечивается за счёт выигранных грантов от конкурсов, минимальной оплатой посещений галереи, иногда платными лекториями, также, в редких случаях, помещения «Смены» сдаются в аренду. Уникальность данного творческого пространства в том, что это один из немногих независимых центров современной культуры в России, который обходится без постоянной финансовой поддержки.

Ещё одним примером регионального креативного кластера, недавно реализованного, является кластер «Лето на заводе» (рис. 13), расположившийся под Екатеринбургом, в городе Сысерть, который считается типичным уральским заводским городком. В прошлом на сысертском заводе выплавляли чугун, производили пушки, ядра и якоря, а после 1997 года предприятие перешло в частные руки и постепенно приходило в упадок. Кластер появился на территории завода в 2019 году, где начал реализо-



Рис. 10. Площади креативных кластеров в России



Рис. 11. Дизайн-завод «Флакон», Москва

вываться проект тактического благоустройства территории, а с 2021 года там начал работать полноценный креативный кластер с кафе, лекторием, экскурсиями и выставками. В рамках проекта предусмотрено не только восстановление существующих зданий, но и постепенное расширение кластера на территории завода.

Заключение. Арт-кластеры выступают в роли культурных центров, занимаясь проведением выставок, концертов, показов кино на своей территории. Однако данные центры можно считать многофункциональными ввиду того, что они, помимо прочего, организуют образовательные и развлекательные мероприятия. Кроме того, подобные площадки дают возможность заниматься малым и средним бизнесом. Наконец, можно отметить, что арт-кластеры часто занимают заброшенные или исто-

рические здания и тем самым задействуют пустующие территории и улучшают внешний вид города.

В России по-прежнему остается много старых, заброшенных, а самое главное – пустующих промышленных пространств. Именно последний факт повлиял на то, что этими пространствами сейчас активно стали интересоваться «неформальные» сообщества: молодые художники, которые используют их под студии и места встреч и для проведения там мероприятий в сфере искусства. Европейский опыт обратил внимание на старые заводы намного раньше отечественной практики. В итоге в России началось освоение заводских пространств, изменение, обновление и создание из них принципиально новых центров современного искусства. Отсутствие подобного

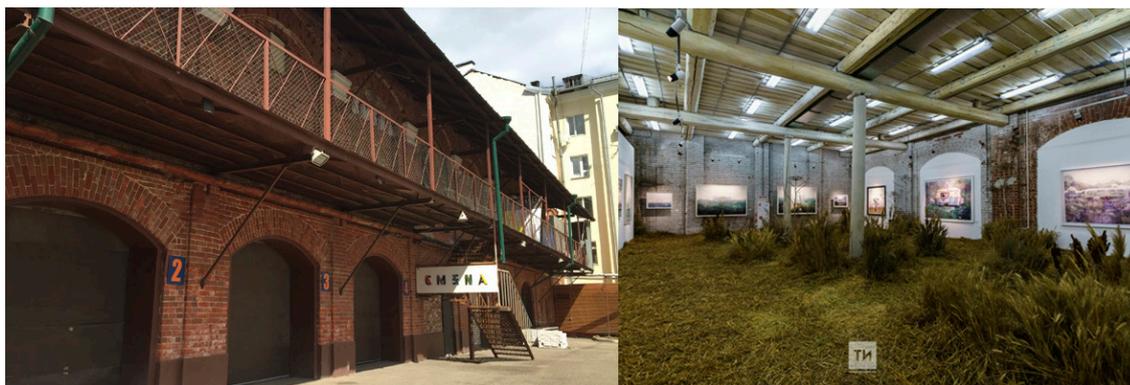


Рис. 12. Центр современного искусства «Смена», Казань

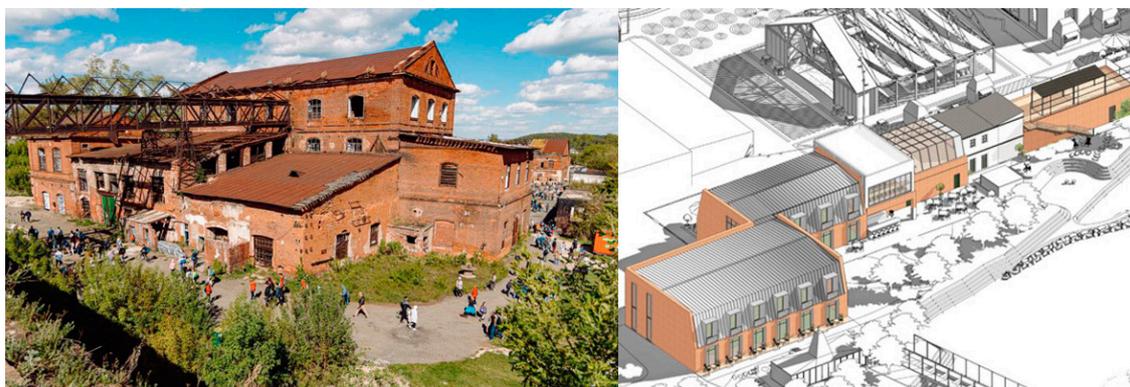


Рис. 13. Арт-кластер «Лето на заводе», Сысерть

типа пространств в городской среде создаёт отсутствие условий для самореализации и ведет к оттоку креативных, творчески одаренных людей в другие города и страны, и этот процесс особенно остро ощущают российские провинциальные регионы.

Очевидно, что территории и постройки, никак не используемые, являются неэффективным использованием городского пространства. Приведенные примеры показывают, как можно подходить к преобразованию таких территорий. Анализируя вышеуказанные примеры, можно выявить некоторые характеристики, свойственные процессу реновации под культурно-коммуникационный центр:

- все типы промышленных объектов участвуют в проектах реновации;
- самое популярное используемое направление реновации – приспособление;

- рациональные архитектурные решения, которые с помощью различных композиционных и архитектурно-художественных приёмов лишь подчеркивают и акцентируют внимание на исторической промышленной застройке в новом сложившемся ансамбле.

В результате чего объекты получают запоминающийся и легко идентифицируемый образ. Такой подход основан на осознании ценности промышленной архитектуры и сохранении ее аутентичности. Таким образом, в ходе внимательного и детального исследования деятельности таких новых площадок, как арт-кластеры, в мировой и отечественной практике были выявлены схожие черты и различия в двух системах. Теперь ясно, что креативные индустрии могут стать инструментом возрождения депрессивных территорий, в том числе и в региональных городах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Compact City Policies: A Comparative Assessment. OECD Green Growth Studies. OECD, 2012. 284 p.
2. *Чайко Д. С.* Современные направления интеграции исторических производственных объектов в городскую среду: диссертация... кандидата архитектуры: 18.00.02/Д. С. Чайко. М.: МАРХИ, 2007.
3. *Барбур Л.* Развитие творческих индустрий: манчестерская модель/Л. Барбур, П. Брайен/Пер. с англ. О. Рева // Творческие индустрии в России: результаты пилотного проекта в Санкт-Петербурге. СПб., 2004. С. 80-83.
4. Исследование «Москва RE: промышленная. Типология производственных территорий и лучшие практики редевелопмента» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.center-agency.org/ru/projects/63> (дата обращения: 8.01.2021).
5. *Гнедовский М. Б.* Творческие индустрии: стратегия инновационного развития/М. Б. Гнедовский // Творческие индустрии: модель для сборки. М.: Институт культурной политики, 2005. С. 7-15. (Культурные стратегии: экспертный клуб. Вып. 4).
6. *Куней И. В.* Арт-кластеры как пространство для развития культурного потенциала города // Национальные культуры в межкультурной коммуникации: материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 31 марта – 1 апр. 2020 г./Белорус. гос. ун-т. Минск: БГУ, 2020. С. 386-394.
7. *Казакова К. И.* Современное искусство в структуре арт-кластера: потенциал развития и формы взаимодействия». Диссертация ... Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, институт гуманитарных наук и искусств, Кафедра истории искусств и музееведения, 2017.
8. *Кирилина М.* Как превратить промышленные зоны в арт-кластеры и заработать на этом // Контур. 2014.
9. *Антонова А. А.* Арт-кластеры как пространство для развития культурного потенциала/А. А. Антонова // В мире науки и искусства: вопросы филологии, искусствоведения и культурологии. 2015. №47.
10. «Сносить нельзя ревитализировать»/Руководство по созданию креативного кластера. ООО «Агентство развития регионов», ООО «Флакон Икс». Москва, 2019.
11. *Амосова Е. В.* Творческие кластеры как способ сохранения и редевелопмента объектов индустриального наследия/Е. В. Амосова // Общество. Среда. Развитие. №3 (52). 2019. С. 98-102.
12. 2.2.1/2.1.1. Проектирование, строительство, реконструкция и эксплуатация предприятий, планировка и застройка населенных мест/Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы/СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов»/утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 25 сентября 2007 г. № 74.
13. *Высоковский А.* Борьба за горожанина: человеческий потенциал и городская среда//Высшая школа урбанистики, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». – Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://mosurbanforum.ru/media/library/2014> (17.03.2018)
14. *Коровин А. В.* Факторы, определяющие креативность городского пространства // Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска. Красноярск: СФУ, 2013. С. 84.
15. *Стеклова И. А., Рагужина О. И.* Креативные пространства как надежда провинции // Теория и практика общественного развития. 2013. №12. С. 1-3.
16. *Иовлев В. И.* Архитектурное проектирование: формирование пространства: учебник/Уральский государственный архитектурно-художественный университет. Екатеринбург: Архитектон, 2016. 232 с.
17. *Ильвицкая С. В., Охлябинин С. Д., Даниленко И. А.* Глоссарий архитектурно-строительных терминов и научных дефиниций в области истории архитектуры и реставрации па-

- матриков архитектуры: учебное пособие по направлению «Архитектура» (магистратура)/М-во сел. хоз-ва РФ, Гос. ун-т по землеустройству, каф. архитектуры. М.: ГУЗ, 2015. 153 с.
18. Внесение изменений в генеральный план города Грозного, внесение изменений в текстовую и графическую части Правил Землепользования и застройки в соответствии с требованиями действующего законодательства и с учетом изменений генерального плана (включая выполнение научно-исследовательских работ). ТОМ 1/Материалы по обоснованию проекта генерального плана муниципального образования городской округ «город Грозный»/Департамент строительства и архитектуры Мэрии г. Грозного, 2017.
 19. Внесение изменений в генеральный план города Грозного, внесение изменений в текстовую и графическую части Правил Землепользования и застройки в соответствии с требованиями действующего законодательства и с учетом изменений генерального плана (включая выполнение научно-исследовательских работ). ТОМ 2/Материалы по обоснованию проекта генерального плана муниципального образования городской округ «город Грозный»/Департамент строительства и архитектуры Мэрии г. Грозного, 2017.
 20. *Флорида Р.* Креативный класс: люди, которые меняют будущее/Пер. с англ. М.: Классика XXI, 2005. 35 с.

GROZNY RESEARCH INSTITUTE: ART CLUSTER FORMATION ANALYSIS FOR THE INDUSTRIAL ZONE TERRITORIES REHABILITATION OF THE URBAN ENVIRONMENT

© S. A. Aliyev, E. D. Terekhova, Kh. A. Aliyeva
GSTOU named after M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

This article is the second part of the scientific study of the method of using the art cluster as a rehabilitation method for the territories of industrial zones, using the example of the Grozny Research Institute, the Chechen Republic. The article reveals the concept of “creative cluster” and the principles of using the typology of the art cluster as a way of rehabilitation of industrial zones on the examples of domestic and foreign experience of using this technique. The main examples, definitions and terms were considered, as well as indicators that directly affect the process of forming art clusters in industrial territories, as well as the conditions for the transition of industrial zones into suitability for the formation of art clusters and determining its position in the modern socio-cultural space, the reasons for the popularity and emergence of sites of this type, in particular, in Russia.

Keywords: Grozny Research Institute, art cluster, art, domestic experience, restoration, industrial territories, new principles of architectural development, foreign experience.

REFERENCES

1. (2012). Compact City Policies: A Comparative Assessment. OECD Green Growth Studies. OECD, 284 p.
2. Chaiko, D. S. (2007). Modern directions of integration of historical production facilities into the urban environment: Ph.D. Thesis of Architecture. MARKHI, Moscow.
3. Barbour, L. and Brian P. (2004). [Development of creative industries: the Manchester model]. Translated by O. Reva. Creative industries in Russia: results of a pilot project in St. Petersburg. St. Petersburg, pp. 80-83.
4. Research “Moscow RE: industrial. Typology of production areas and best practices of redevelopment” [Online], available at: <https://www.center-agency.org/ru/projects/63> (Accessed 8.01.2021).
5. Gnedovsky, M. B. (2005). Creative industries: strategy of innovative development. Creative industries: a model for assembly: Institute of Cultural Policy, Moscow, pp. 7-15. – (Cultural strategies: expert club. Issue 4).
6. Kuney, I. V. (2020). ‘Art clusters as a space for the development of the cultural potential of

- the city'. *National cultures in intercultural communication: materials of the V International Scientific and Practical Conference*, Minsk, March 31 – April 1, Belarusian State University: BSU, Minsk. pp. 386-394.
7. Kazakova, K. I. (2017). Contemporary art in the structure of an art cluster: development potential and forms of interaction, Phd Thesis. Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Institute of Humanities and Arts, Department of Art History and Museology, 2017.
 8. Kirilina, M. (2014). "How to turn industrial zones into art clusters and make money on it", *Kontur Magazine*.
 9. Antonova, A. A. (2015). Art clusters as a space for the development of cultural potential. In the world of science and art: questions of philology, art history and cultural studies. №47.
 10. (2019). "IT is impossible to demolish revitalize". *Guide to the creation of a creative cluster*. Regional Development Agency LLC, Flacon X LLC. Moscow.
 11. Amosova, E. V. (2019). 'Creative clusters as a way of preservation and redevelopment of objects of industrial heritage'. *Journal "Society. Wednesday. Development"*, №3 (52), pp. 98-102.
 12. 2.2.1/2.1.1. Design, construction, reconstruction and operation of enterprises, planning and construction of settlements. Sanitary and epidemiological rules and regulations. SanPiN 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Sanitary protection zones and sanitary classification of enterprises, structures and other objects", approved by the resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of 25 September 2007 № 74.
 13. Vysokovsky, A. The struggle for the citizen: human potential and the urban environment. Higher School of Urban Studies, National Research University "Higher School of Economics". – Internet resource, available at: <http://mosurbanforum.ru/media/library/2014> (Accessed: 17.03.2018)
 14. Korovin, A. V. (2013). 'Factors determining the creativity of urban space'. *Youth and science: collection of materials. IX All-Russian Scientific and Technical Conference of students, postgraduates and young scientists with international participation, dedicated to the 385th anniversary of the founding of Krasnoyarsk*. SFU, Krasnoyarsk, p. 84.
 15. Steklova, I. A. and Raguzhina, O. I. (2013). 'Creative spaces as the hope of the province'. *Theory and practice of social development*. No. 12. pp. 1-3.
 16. Iovlev, V. I. (2016). 'Architectural design: the formation of space'. *Textbook*. Ural State University of Architecture and Art. Yekaterinburg: Architecton, 232 p.
 17. Ilvitskaya, S. V., Okhlyabinin, S. D. and Danilenko, I. A. (2015). 'Glossary of architectural and construction terms and scientific definitions in the field of the history of architecture and restoration of architectural monuments'. *A textbook in the direction of "Architecture"* (Master's degree). Ministry of Land Development, State University of Land Management, Architecture department. SYLD, Moscow, 153 p.
 18. (2017). *Amendments to the general plan of the city of Grozny, amendments to the text and graphic parts of the Rules of Land Use and development in accordance with the requirements of current legislation and taking into account changes in the general plan (including the implementation of research works)*. VOLUME 1. Materials on substantiation of the draft master plan of the municipal formation of the city district "city of Grozny". Department of Construction and Architecture of the City Hall of Grozny.
 19. (2017). *Amendments to the general plan of the city of Grozny, amendments to the text and graphic parts of the Rules of Land Use and development in accordance with the requirements of current legislation and taking into account changes in the general plan (including the implementation of research works)*. VOLUME 2. Materials on the justification of the draft master plan of the municipal formation of the city district "city of Grozny". Department of Construction and Architecture of the City Hall of Grozny.
 20. Florida, R. (2005). Creative class: people who change the future. Trans. from English. Classics XXI, Moscow, 35 p.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

© М. Д. Кабалин, А. В. Замуруев, А. В. Курлыкина, Д. А. Кузнецов
БГТУ им. В. Г. Шухова, Белгород, Россия

Во многих регионах нашей страны ощущается нехватка качественных минеральных материалов, пригодных для устройства оснований и конструктивных слоев дорожной одежды. Из-за чего возникает острая потребность доставки материалов на большие расстояния, вызывая замедление темпов строительства и увеличение денежных затрат. Улучшение характеристик грунта и увеличение его несущей способности за счёт использования местных сырьевых материалов – актуальная задача, которая стоит перед дорожниками. **Результаты.** В обзорной статье рассмотрены публикации ведущих научных исследователей дорожной отрасли, работы которых нацелены на изучение грунтов, укрепленных различными минеральными вяжущими. **Выводы.** Анализ литературных источников, демонстрирует, что отходы пыли электрофильтров, золы и шлаки тепловых электростанций, фосфогипс могут эффективно вовлекаться в процессы производства комплексных минеральных вяжущих для укрепления грунтов земляного полотна и оснований автомобильных дорог, позволяя достичь синергии в решении стоящих перед отраслями задач.

Ключевые слова: минеральные вяжущие вещества, земляное полотно, местные материалы, укрепление грунтов, вторсырье, золы, шлаки, фосфогипс.

Формат цитирования: Кабалин М. Д., Замуруев А. В., Курлыкина А. В., Кузнецов Д. А. Теоретические аспекты укрепления грунта в дорожном строительстве // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIX, № 3 (33). С. 64-76. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.13.29.007

Введение. Автомобильные дороги являются высокотехнологичными объектами, возведение которых сопряжено с вовлечением в процесс строительства значительного объёма природных сырьевых ресурсов. Сложно найти подобное инженерное сооружение, которое бы работало в таких неблагоприятных условиях, как дорога, что обусловлено линейностью транспортного сооружения, на всем своем протяжении контактирующего с грунтом естественного залегания (как правило, не однородным), для которого характерна динамичная изменчивость его состояния (температура, влажность) не только в течение года, но и суток. При этом конструкция подвержена многократному циклическому воздействию нагрузок от подвижного транспортного состава и различных химических реагентов, способных к накоплению в грунтах насыпей и оснований автомобильных дорог.

С теоретической точки зрения, для дорожно-строительного сегмента внедрение в технологический процесс любых видов грунтов – оправдано. Однако эта реальность существу-

ет зачастую исключительно на бумаге. Значительное количество видов грунтов требуют существенной конструктивной и технологической доработки на местах для возможности их эффективного использования. Подобные мероприятия в первую очередь нацелены на регулирование водно-теплового режима и придания необходимой несущей способности грунтам основания.

Водно-тепловой режим работы земляного полотна и слоев основания дорожной одежды – сложный процесс, включающий увеличение объема грунта за счет подтока, накопления и замерзания влаги, заполнившей поры грунта, с одновременным набуханием глинистых минералов, приводящим к деформации дорожных одежд и земляного полотна, которая проявляется в разрушении и потере ровности покрытия. Весеннее повышение температур способствует переходу влаги, находящейся в порах грунта, из состояния «лед» в воду, перенасыщающую грунт и ведущую к потере прочности конструктива. Под воздействием статической и динамической нагрузок в переувлажненных

местах наблюдается осадка грунта, ведущая к образованию просадок и проломов в дорожных одеждах.

Естественное состояние грунта – трехфазное, рис. 1. Основными фазами, слагающими грунт, принято считать: твердую – это различные по своему происхождению (минеральная

и/или органическая) части горных пород, слагающих жесткий скелет грунта различной пористости; жидкую – это природная вода, находящаяся в различных состояниях и заполняющая поровое пространство твердой фазы; газообразную – та часть пустот твердой фазы, что не заполнена жидкой фазой, размещает в своих пустотах газы.

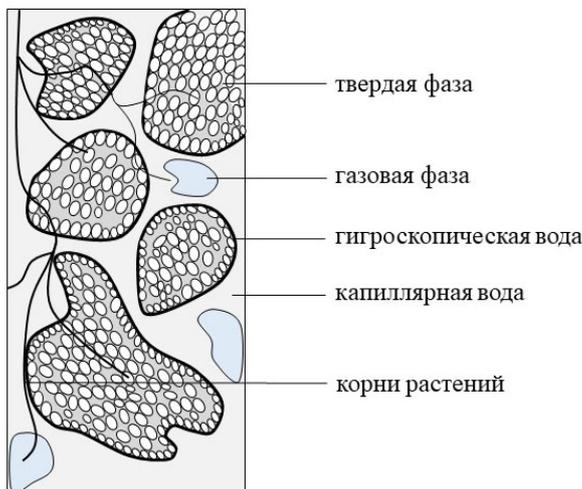


Рис. 1. Фазы грунта

Твердая фаза является самой представительной среди рассматриваемых фаз. Как отмечалось выше, она является результатом коррозии, распада и физического измельчения горных пород и минералов. Подобные процессы обуславливают формирование различных по форме и размерам частиц нестабильного состава. Закономерности, установленные в области знаний, затрагивающих физическую химию материалов, справедливы и для механики

грунтов. Так, известно, что уменьшение размеров твердых частиц прямо пропорционально увеличению показателя удельной поверхности в том числе и грунта. Таким образом, измельчение твердых частиц грунта способствует интенсификации проявления физико-химических сил на поверхности данных частиц. Результатирующим эффектом от действия внешних нагрузок являются деформации сжатия и сдвига в земляном полотне, рис. 2.

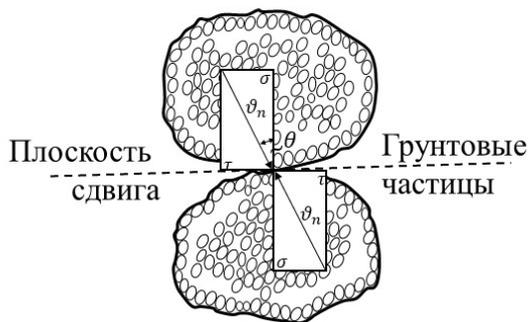


Рис. 2. Схематичное изображение контакта грунтовых частиц и напряжений в зоне соприкосновения

Напряжения, действующие в точке контакта грунтовых частиц, раскладываются на две составляющие: нормальное напряжение, действующее перпендикулярно к рассматриваемому контакту и касательное напряжение, действующее в направлении сдвига.

Условие прочности грунта заключается в следующем неравенстве, согласно которого

му массив грунта является устойчивым, пока сдвигающее напряжение меньше нормального напряжения (формула 1):

$$\tau \leq f(\sigma), \tag{1}$$

где τ – касательное напряжение, Н/м²;
 σ – нормальное напряжение, Н/м².

При этом жидкая фаза, включающая растворенные минеральные соли, в этом случае выполняет роль смазки между частицами твердой фазы и в случае ее избыточного содержания нарушает условие (1), способствующее деформированию грунта земляного полотна и снижению его несущей способности.

Улучшение физико-механических характеристик грунта основания и увеличение его несущей способности возможно посредством нескольких методов (рис. 3).

Для долгосрочной эксплуатации автомобильных дорог, при устройстве грунтов оснований, необходимо стремиться к достижению этим конструктивным слоем определенного набора характеристик. Так, слои оснований должны отличаться:

- высокими модулями деформации или упругости. О достижении требуемых величин модулей косвенно судят по прочностным характеристикам и сопротивлению сдвигу конструкции;
- способностью сохранять механическую прочность после контакта с водой или насыщения ею;

– в соответствии с нормативной документацией, для грунтов основания, особенно укрепленных, ключевым параметром свойств является морозостойкость. Отмеченный параметр характеризует характер потери прочностных характеристик и влагоемкости в результате многократного переменного замораживания – оттаивания.

Анализ современных разработок и литературных данных свидетельствует, что закрепление или укрепление грунтов является наиболее эффективной и передовой технологией, позволяющей посредством введения в грунт вяжущих материалов запускать сложные физико-химические и химические взаимодействия. Результатом контакта всех 3-х фаз грунта с различным вяжущим является качественное изменение и улучшение физико-механических свойств грунта с формированием прочного, водо- и морозоустойчивого конгломерата. Достижение требуемых параметров свойств становится возможным посредством формирования новых структурных связей, обеспечивающих необратимую и устойчивую связность частиц грунта. Повышенная связность элементов грунтового массива обеспечивает высокую прочность, плотность и водопроницаемость дорожного конструктивного слоя.

При укреплении или закреплении грунтов земляного полотна, в зависимости от комплекса используемых добавок или вяжущих веществ, возможно формирование различных

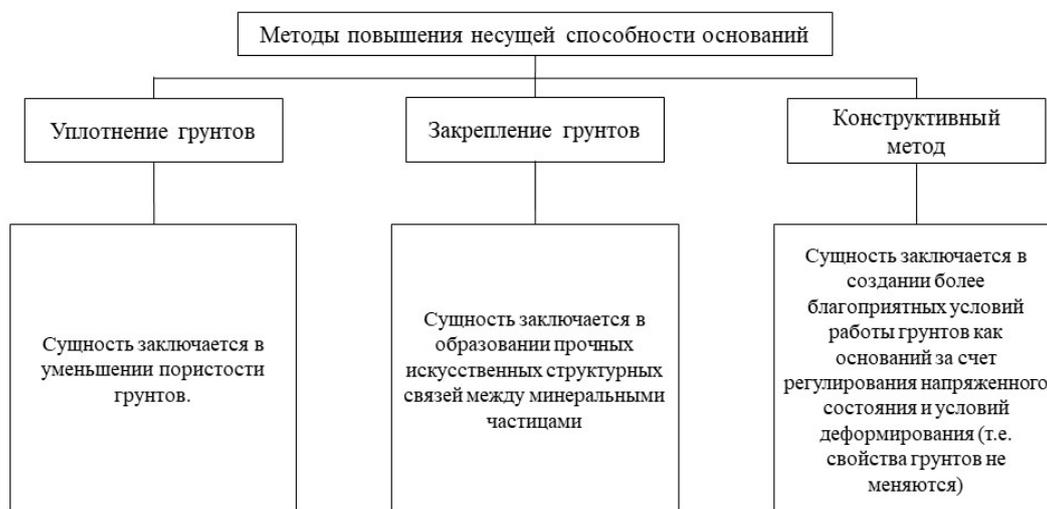


Рис. 3. Методы повышения несущей способности оснований

структур, освещенных Н.Б. Урьевым. Однако, с точки зрения эффективности формируемых структур, кристаллизационные являются наиболее прочными и водоустойчивыми. Подобные структуры – это результат сращивания кристаллов новых фаз, выкристаллизовывающихся из перенасыщенного раствора вяжущих гидратационного твердения (известки, цемента, шлаков и т.д.), при этом наблюдается вовлечение избыточной влаги, содержащейся в твердой фазе грунта для структурообразования.

Многолетний отечественный и зарубежный практический опыт демонстрирует неэффективность укрепления грунтов одним видом вяжущего ввиду одностороннего проявления свойств. Введение комплексных модифицирующих веществ (КМВ) в грунт, а также различных целевых добавок может являться эффективным инструментом в достижении заданного вектора параметров свойств.

Таким образом, объектом исследования в работе выступала публикационная активность исследователей, нацеленная на изучение грунтов, укрепленных различными минеральными вяжущими.

Основная часть. Разработка методов укрепления грунта вяжущими веществами весьма актуальна. В районах дорожного строительства, где отсутствуют каменные материалы, перевозка их за сотни километров значительно увеличивает первоначальную стоимость этих материалов, что является причиной удорожания строительства. Для укрепления грунтов используют неорганические вяжущие вещества, такие как: цементы, активные тонкодисперсные золы уноса, известь, молотые гранулированные шлаки и смеси на их основе, в том числе наномодифицированные. Разработке составов и способов укрепления грунта неорганикой посвящено много отечественных и зарубежных исследований.

Дорожное строительство является крайне материалоемкой отраслью. Так, например, для устройства укрепленных слоев дорожных оснований наибольшее распространение получили грунты, укрепленные цементом или известью, что значительно увеличивает стоимость строительства. В связи

с этим, задача изобретения В.Б. Черногиль [22] состоит в создании прочного, морозостойкого и однородного укрепленного глинистого грунта, пригодного для устройства укрепленных дорожных оснований на дорогах I-V категорий посредством не только удешевления процесса строительства за счет утилизации отходов, образующихся при производстве чугуна, но и компенсации негативных свойств моновяжущих, таких как известь и цемент.

В соответствии с разработкой научной группы под руководством А.Г. Лукашук [24] была получена композиция укрепленного глинистого грунта, содержащая комплексное вяжущее, в основе которого используют сталеплавильный конвертерный шлак Новолипецкого металлургического комбината и воду для обеспечения требуемой влажности, при этом в качестве активатора твердения рассматривался портландцемент или шлакопортландцемент марок по прочности не ниже М300 и дополнительно – химическая добавка «Чимстон». Разработанный состав обладает высокой прочностью при сжатии (не менее 5,55 МПа), коэффициентом морозостойкости после 25 циклов (не менее 0,73) и небольшим водонасыщением (не более 4,0%) по сравнению с контрольным составом.

Группа исследователей под руководством Е.А. Вдовина [18, 20] разработала состав для дорожного строительства, включающий минеральное вяжущее, заполнитель из грунтовых, песчаных, и щебеночно-песчаных смесей, воду и химические добавки вида октилтриэтоксисилан/эмульсия октилтриэтоксисилана и водный раствор сополимера на основе полиоксиэтиленовых производных ненасыщенных карбоновых кислот/карбоксилатный полиэфир. Цель разработки – повышение морозостойкости и прочности композиции.

Композиция, содержащая минеральное вяжущее, минеральный заполнитель, грунт, воду и химическую добавку «Силор», способствует повышению прочности на сжатие в 2 раза, морозостойкости, достижению регклируемого предела прочности на растяжение при изгибе [15].

Задачей, на решение которой направлены изобретения С.С. Заболоцкого [17, 19], является расширение ассортимента дорожно-строительных композиционных материалов и номенклатуры грунтов, пригодных для укрепления. Предложенная композиция включает: цемент, отход термической утилизации нефтешламов – золошлак, минеральный наполнитель 0-30, торфяной сорбент, буровой шлам. Полученные составы укрепленного грунта отличаются высокой прочностью, водо-, морозостойкостью и деформативностью. Возможность утилизации отходов бурения способствует улучшению экологической обстановки в регионе и снижению расхода цемента на 10-30%.

Вариация состава, описанного в [17], изложена в [19], где для повышения показателей материала применяют улучшающие порошковые добавки: хлорид кальция технический, хлорид натрия, нитрит кальция (в количестве до 2% от массы смеси), которые ускоряют набор прочности и являются противоморозными, позволяющими изготавливать композиционный материал в зимний период. Вышеперечисленные микродобавки – порошковые сыпучие вещества, что для северных регионов предпочтительно с точки зрения их транспортировки и введения при перемешивании смесей [17, 19].

Сухую строительную смесь для укрепления и стабилизации грунта разработал С.Б. Пепеляев [27]. Продукт включает: меланин, волластонит, буроугольную золу-уноса, олеат натрия, суперпластификатор С-3, цитрат натрия, лигносульфонат технический ЛСТ, доломитовую муку, известь гашеную, активный микрокремнезем, фторид натрия, сульфаты меди, аммония, железа, фибру и цемент. Технический результат – повышение прочности, морозоустойчивости, снижение водонасыщения и набухания грунта.

Известна композиция [16] для устройства оснований дорожных одежд и сооружений, включающая цемент, шлам химводоочистки ТЭЦ и, при необходимости, воду. Отличие описанного изобретения заключается в том, что оно содержит песок и добавку полимерно-минерального комплекса «Никофлок».

Изобретение [25] нацелено на повышение качества стабилизации грунта за счет снижения образования в нем усадочных трещин, выбоин и участков, подверженных морозному пучению. Исключение возможных дефектов повышает прочностные характеристики грунта и срок его эксплуатации. Достижение поставленной цели реализуется посредством состава, содержащего цемент, известь гашеную, золу-унос, меланин, формиат кальция, стекло натриевого, олеат натрия, лигносульфонат, активный микрокремнезем, доломитовую муку, этилсиликонат натрия, метилсиликонат натрия, сульфаты натрия, аммония и железа. Основу стабилизирующей добавки составляет цемент.

Командой инженеров под руководством Н.А. Коноваловой предложен состав грунтобетонной смеси, отличающейся повышенной прочностью на сжатие и растяжение при изгибе без снижения морозостойкости, и способ применения ее в строительстве [26]. Состав грунтобетонной смеси содержит: техногенный грунт, минеральное вяжущее – портландцемент, высокомолекулярное поверхностно-активное вещество – продукт полиальдольной конденсации ацетальдегида и воду. Авторами [13] предложен состав грунтобетонной смеси с повышенными характеристиками водо- и морозостойкости, предназначенный для устройства оснований дорожных одежд. Для приготовления состава используют техногенный грунт и известьсодержащие отходы сахарных заводов.

Группа изобретений [23] позволяет использовать для стабилизации и укрепления пластичных, переувлажненных, засоленных грунтов. Укрепление осуществляется с помощью неорганических составов, включающих цемент, разведенные в воде эфир целлюлозы и силикат натрия. Полученная грунтовая смесь приобретает прочность и водонепроницаемость, что делает ее устойчивой к воздействию любых климатических условий и обильных осадков.

Изобретение Н.А. Слободчиковой и К.В. Плюта [29] посвящено зологрунту для дорожного строительства, содержащему

портландцемент, золошлаковую смесь с оксидом кальция не более 10 мас. %, грунт и воду. В качестве грунта рассматривается крупнообломочный гравийный с суглинком легким или песком. Получаемый состав характеризуется высокими эксплуатационными свойствами, повышенной и равномерной устойчивостью дорожного полотна в процессе эксплуатации и пролонгированным ростом прочности композита.

Изобретение [28] касается состава для укрепления суглинистых или супесчаных грунтов вяжущим, содержащим: гранулированный доменный шлак фракции 0,16-2,5 мм, шлак внепечной обработки стали фракции 0,16-0,63 мм, реакционно-активный наполнитель (поликарбонат на основе сополимера метакриловой кислоты + нитрит калия KNO_2), комплексную химическую добавку и воду. Технический результат – повышение прочности на сжатие, прочности на растяжение при изгибе и повышение морозостойкости укрепляемого грунта.

С.А. Чудинов предложил фиброцементогрунтовую смесь [30], которая может быть использована для укрепления грунтов при устройстве слоев оснований и покрытий дорожных одежд. Фиброцементогрунтовая смесь содержит: природный грунт, портландцемент, базальтовое волокно, являющееся отходом производства базальтовых теплоизоляционных плит, длиной от 0,01 до 3,00 мм, или стеклянное волокно длиной от 10,00 до 30,00 мм, или полипропиленовое волокно длиной от 10,00 до 30,00 мм, или углеродное волокно длиной от 10,00 до 30,00 мм, вода – остальное. В результате наблюдается повышение предела прочности при сжатии, изгибе и раскалывании при условии высокой трещиностойкости укрепленных грунтов, повышение морозостойкости и уменьшение водонасыщения. Фиброволокна благодаря эффекту дисперсного армирования материала препятствуют трещинообразованию фиброцементогрунтовой плиты.

Повышение морозостойкости и долговечности конструкций автомобильных дорог V технической категории является задачей изо-

бретения [12]. Реализация задачи осуществляется посредством вовлечения в состав грунта цемента совместно с добавкой из извести и молотого боя керамического кирпича.

С целью увеличения марки по прочности и морозостойкости конструкций автомобильных дорог V технической категории было предложено [21] грунт укреплять цементом совместно с гидроизоляционной добавкой комплексного действия «Пенетрон Адмикс».

Задачей полезной модели [11] является повышение прочности (модуля упругости) и долговечности конструкций промышленных дорог и площадок. Такая конструкция включает слой из местного материала (щебня, грунтощебня, гравия, песка, песчано-гравийной смеси, глинистого грунта), обработанного цементом и буровым шламом, образующимся при бурении нефтяных или газовых скважин, с добавлением фиброволокна.

Предложен способ укрепления как естественных грунтов, так и минеральных материалов для строительства дорог [14] повышенной прочности и водостойкости. В качестве вяжущего предложено использовать гидравлические минеральные (цемент) и водоразбавляемые полимерные связующие (латекс сополимеров на основе стирола, эфир акриловой кислоты, бутадиена, акрилонитрила, этилена с винилацетатом, винилхлоридом или их смесей с добавками загустителей на основе целлюлозы, пеногасителей силоксанового типа и эфира гликоля с регулированием pH едкой щелочью).

Полезная модель [10] содержит предложения по конструкции дорожной одежды, состоящей из грунта, укрепленного цементом совместно с добавкой гиперпластификатора Одолит-К на основе специальных карбоксилатов, и слой износа. Устройство покрытия с повышенной прочностью и морозостойкостью способствует увеличению долговечности всей конструкции.

Другая конструкция дорожной одежды [9] выполнена из местного грунта, укрепленного цементом и активированным минеральным наполнителем из активированного известью в дезинтеграторе природного песка. Отмечает-

ся, что такое покрытие обладает высокой морозостойкостью.

Известна также конструкция дорожной одежды [8], включающая покрытие из грунта, укрепленного цементом и кремнийорганической жидкостью «Силор», и слой износа. Задачей полезной модели является повышение морозостойкости и долговечности конструкций автомобильных дорог V технической категории.

Для расширения сырьевой базы вяжущих материалов предлагается [5] использовать комплексное минеральное вяжущее на основе портландцемента с микронаполнителем из золы-уноса топок кипящего слоя Ошмянской ТЭЦ и двуводного гипса.

А. В. Андреева и другие [2] при строительстве автомобильных дорог в г. Якутске используют для дорожных одежд местные грунты: глина месторождения ОйБесс Республики Саха (Якутия) и отсев дробления каменных пород; в качестве вяжущего рассматривался цемент с ионным стабилизатором «АНТ».

Перспективы использования полимерных стабилизаторов при укреплении грунтов минеральными вяжущими показаны в [35]. Посредством полимерных стабилизаторов предлагается решать проблемы морозо- и трещиностойкости за счет обеспечения удобоукладываемости композиций и снижения расхода воды [33]. В результате наблюдается улучшение удобоукладываемости и повышение прочности цементных растворов, снижение пористости укрепленных грунтов.

В работе [35] также было изучено влияние полимерных стабилизаторов на предел прочности при сжатии укрепленных грунтов, состоящих из суглинка легкого пылеватого с оптимальной влажностью – 16%, цемента марки 500 и полимерных стабилизаторов «Nanostab» или «Техностаб». Предложенное решение позволяет снизить толщину конструкций дорожных одежд и обеспечивает им конкурентоспособность.

Практический опыт и перспективы применения полимерных стабилизаторов при укреплении грунтов минеральными вяжущими также приведены в [1, 3, 31, 36-41].

Укрепление грунтов негашеной известью требует тщательного подхода к проектированию смеси, но при этом уменьшает и упрощает работу строительной техники, позволяя исключить в конструкции дорожной одежды слои основания из песка и щебня. В этом случае сформированный слой может служить основанием под асфальтобетон. Обзор этого способа укрепления грунтов представлен в [4]. В публикации приводятся данные, что использование извести позволяет изменять химические свойства грунтов [34], снижать содержание влаги. Также работы с известковым раствором позволяют снизить требования к технике безопасности относительно работ с сухим материалом.

В статье [32] приведены данные об испытаниях модификатора «ДС-35», разработанного с учетом применяемых в дорожном строительстве технологий и материалов, позволяющего получать прочные структурообразующие во времени основания. Модификатор «ДС-35» вводится в глинистый грунт в оптимальном соотношении совместно с гидравлическим вяжущим (цементом) и позволяет получать прочностные показатели глинистых грунтов, соответствующие маркам по прочности М60-М100.

Исследованиям процесса формирования структурных связей в грунтах, обработанных неорганическими вяжущими, посвящены публикации [5]. Исследованиями установлены закономерности изменения прочности цементогрунта от количества цемента. Выявлено наличие в укрепленном композите как «гибких», так и «жестких» структурных связей. Из исследования следует, что прочность цементогрунта после первых циклов разрушения резко уменьшается, а затем при последующих циклах формирования и разрушения так же, как и в неукрепленных грунтах, устойчиво восстанавливается. При обработке грунта известью или активной золой уноса характер зависимости сохраняется. Однако если разрушение «жестких» связей цементогрунтов происходит в основном при первом цикле, то в извести (зола) – грунтах интенсивное восстановление «жестких» связей отмечается при первых трех-четырёх циклах. Это указывает на мень-

шую чувствительность таких грунтов к разрушению первичных структурных связей жесткого типа.

Выводы. Реалии жизни современного человека как никогда обусловлены глобальными экологическими проблемами, сопряженными с утилизацией и необходимостью переработки отходов различных производств во вторичное сырье. Ежегодно на территории РФ аккумулируется более 3 млрд т отходов различных производств, однако объем вовлекаемых в переработку твердых бытовых отходов не превышает 5%. Анализ литературных источников демонстрирует, что отходы пыли электрофильтров, золы и шлаки тепловых электростанций,

фосфогипс могут эффективно вовлекаться в процессы производства комплексных минеральных вяжущих для укрепления грунтов земляного полотна и оснований автомобильных дорог.

Подобный подход позволит достичь синергии в решении стоящих перед отраслями задач: расширить номенклатуру разновидностей грунтов, пригодных для укрепления посредством регулирования условий твердения и структурообразования устраиваемого композита, снизить стоимость строительства за счет замены каменных материалов грунтами, а также экологический прессинг за счет рационального ресурсопотребления вторичного сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жигайлов А. А., Шуваев А. Н., Куюков С. А. Влияние степени уплотнения на основные характеристики цементогрунта с полимерной добавкой // Научно-технический вестник Поволжья: научно-технический журнал. 2011. № 5. С. 131-134.
2. Исследование влияния способов укрепления грунтов / А. В. Андреева, О. Н. Буренина, Н. Н. Давыдова, М. Е. Саввинова // Наука и современность. 2015. № 38. С. 147-150.
3. Кочеткова Р. Г. Эффективность применения стабилизаторов нового поколения // Дороги России. 2014. № 5. С. 103-108.
4. Ленков Д. Д. Укрепление грунтов минеральными вяжущими материалами // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XVII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. (Екатеринбург, 05-17 апреля 2021 г.). Екатеринбург: Изд-во Уральского ГЛТУ, 2021. С. 114-116.
5. Лыщик П. А., Науменко А. И. Новые композиционные материалы для укрепления дорожных грунтов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 3-3 (8-3). С. 200-202.
6. Лыщик П. А., Науменко А. И. Укрепление местных грунтов комплексным вяжущим для строительства дорог // Лес-Наука-Инновации-2022: состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ; сборник статей II Международной научно-технической конференции в рамках Международного молодежного форума по лесопромышленному образованию. (Минск, 06-09 декабря 2022 г.). Минск: Изд-во Белорусского государственного технологического университета, 2022. С. 95-100.
7. Малинин А. Г., Гладков И. Л., Жемчугов А. А. Укрепление слабых грунтов в основании насыпи автодороги при помощи технологии струйной цементации // Транспортное строительство. 2013. № 1. С. 4-7.
8. Пат. 138502 Российская Федерация, МПК E01C 21/00. Конструкция дорожной одежды / Вдовин Е. А., Мавлиев Л. Ф., Буланов П. Е.; заявитель и патентообладатель Казанский гос. арх.-строит. ун-т. № 2013138237/03; заявл. 15.08.2013; опубл. 20.03.2014, Бюл. № 8.
9. Пат. 138505 Российская Федерация, МПК E01C 7/36. Конструкция дорожной одежды / Строганов В. Ф., Вдовин Е. А., Мавлиев Л. Ф. [и др.]; заявитель и патентообладатель Казанский гос. арх.-строит. ун-т, № 2013141565/03; заявл. 10.09.2013; опубл. 20.03.2014, Бюл. № 8.
10. Пат. 148798 Российская Федерация, МПК E01C 21/00. Конструкция дорожной одежды / Вдовин Е. А., Мавлиев Л. Ф., Буланов П. Е. [и др.]; заявитель и патентообладатель Казанский гос. арх.-строит. ун-т. № 2014130964/03; заявл. 25.07.2014; опубл. 20.12.2014, Бюл. № 35.
11. Пат. 163494 Российская Федерация, МПК E01C 7/10, E01C 7/36. Конструкция дорожной

- одежды/*Ахсанов Р. А., Шарифуллин М. С., Мавлиев Л. Ф.*; заявитель и патентообладатель Ахсанов Р. А. №2015154894/03; заявл. 21.12.2015; опубл. 20.07.2016, Бюл. №20.
12. Пат. 177391 Российская Федерация, МПК E01C 21/00, E01C 7/36. Конструкция дорожной одежды/*Смирнов Д. С., Гараев Т. Р., Мавлиев Л. Ф.*; заявитель и патентообладатель Казанский гос. арх.-строит. ун-т. №2017127244; заявл. 28.07.2017; опубл. 20.02.2018, Бюл. №5.
13. Пат. 2445285 Российская Федерация, МПК C04B 28/04, E01C 3/00. Состав грунтобетонной смеси, грунтобетонное основание дорожной одежды, способ его устройства/*Строкова В. В., Карацупа С. В., Дмитриева Т. В. [и др.]*; заявитель и патентообладатель Белгородский гос. технол. ун-т. №2010108582/03; заявл. 09.03.2010; опубл. 20.03.2012, Бюл. №8.
14. Пат. 2509188 Российская Федерация, МПК E02D 3/12, C09K 17/44. Способ укрепления естественных грунтов и минеральных материалов для строительства дорог/*Полуэктов П. Т., Перов В. А., Хомяков А. А. [и др.]*; заявитель и патентообладатель Полуэктов П. Т., Перов В. А., Хомяков А. А. [и др.]. №2012146470/03; заявл. 31.10.2012; опубл. 10.03.2014, Бюл. №7.
15. Пат. 2519283 Российская Федерация, МПК E01C 21/00. Грунтовая смесь для дорожного строительства/*Вдовин Е. А., Мавлиев Л. Ф., Шайхутдинов А. Н.*; заявитель и патентообладатель Казанский гос. арх.-строит. ун-т. №2012144232/03; заявл. 17.10.2012; опубл. 10.06.2014, Бюл. №16.
16. Пат. 2520118 Российская Федерация, МПК E01C 3/04, E02D 3/12, C09K 17/10. Композиция для устройства оснований дорожных одежд и других сооружений/*Митрофанов Н. Г., Панов И. В., Румянцев Д. А. [и др.]*; заявитель и патентообладатель Тюменский гос. арх.-строит. ун-т. №2012137591/03; заявл. 03.09.2012; опубл. 20.06.2014, Бюл. №9.
17. Пат. 2541009 Российская Федерация, МПК C04B 28/00, E01C 3/04, C04B 111/20. Грунт укрепленный дорожно-строительный/*Заболоцкий С. С.*; заявитель и патентообладатель ООО «Сибпромстрой», Заболоцкий С. С. №2013128438/03; заявл. 24.06.2013; опубл. 10.02.2015, Бюл. №4.
18. Пат. 2545228 Российская Федерация, МПК E01C 21/00, E01C 7/10. Грунтовая смесь для дорожного строительства (варианты)/*Вдовин Е. А., Мавлиев Л. Ф., Строганов В. Ф. [и др.]*; заявитель и патентообладатель Казанский гос. арх.-строит. ун-т. №2013152240/03; заявл. 25.11.2013; опубл. 27.03.2015, Бюл. №9.
19. Пат. 2551560 Российская Федерация, МПК C04B 28/02, C04B 18/04, E02D 3/12, C04B 111/20, C04B 111/27. Дорожно-строительный композиционный материал/*Заболоцкий С. С.*; заявитель и патентообладатель ООО «Сибпромстрой», Заболоцкий С. С. №2013128439/03; заявл. 24.06.2013; опубл. 27.05.2015, Бюл. №10.
20. Пат. 2603682 Российская Федерация, МПК C04B 28/04, E01C 21/00, E02D 3/12, C04B 24/04, C04B 24/24, C04B 103/32, C04B 111/20. Состав для дорожного строительства/*Вдовин Е. А., Мавлиев Л. Ф., Буланов П. Е. [и др.]*; заявитель и патентообладатель Казанский гос. арх.-строит. ун-т, Л. Ф. Мавлиев. №2015127511/03; заявл. 08.07.2015; опубл. 27.11.2016, Бюл. №33.
21. Пат. 2606743 Российская Федерация, МПК E01C 21/00. Конструкция дорожной одежды автомобильных дорог V технической категории/*Черепов В. Д., Деминцева Е. А.*; заявитель и патентообладатель ООО «Инновационные строительные материалы». №2015111162; заявл. 27.03.2015; опубл. 10.01.2017, Бюл. №29.
22. Пат. 2621802 Российская Федерация, МПК E02D 3/12, C04B 28/08, C04B 111/20. Укрепленный глинистый грунт/*Черногиль В. Б.*; заявитель и патентообладатель Черногиль В. Б. №2016116124; заявл. 25.04.2016; опубл. 07.06.2017, Бюл. №16.
23. Пат. 2643869 Российская Федерация, МПК E01C 3/04, E01C 7/36, E02D 3/12, C09K 17/12. Состав для укрепления грунта, способ укрепления грунта и грунтовая смесь/*Комолов В. Б.*; заявитель и патентообладатель Комолов В. Б. №2016145347; заявл. 21.11.2016; опубл. 06.02.2018, Бюл. №4.
24. Пат. 2645316 Российская Федерация, МПК E02D 3/12, C04B 28/08, C04B 111/20, C04B 111/27. Укрепленный глинистый грунт/*Лукашук А. Г., Черногиль В. Б., Подольский В. П.*; заявитель и патентообладатель Лукашук А. Г., Черногиль В. Б., Подольский В. П. №2017101641; заявл. 18.01.2017; опубл. 20.02.2018, Бюл. №5.

25. Пат. 2670468 Российская Федерация, МПК E02D 3/12, C04B 28/04. Состав для стабилизации природных и техногенных грунтов/*Шмотьев С. Ф., Плинер С. Ю., Рожков Е. В.* [и др.]; заявитель и патентообладатель ООО ПКФ «Стройпрогресс». №2017109938; заявл. 27.03.2017; опубл. 23.10.2018, Бюл. №30.
26. Пат. 2691042 Российская Федерация, МПК E02D 3/12, E01C 3/00, E01C 21/00, C04B 28/04, C04B 111/20. Состав грунтобетонной смеси и способ применения ее в строительстве/*Коновалова Н. А., Панков П. П., Дабижа О. Н.* [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО ИрГУПС. №2017147177; заявл. 29.12.2017; опубл. 07.06.2019, Бюл. №16.
27. Пат. 2734749 Российская Федерация, МПК E02D 3/12, C04B 28/04, C04B 111/20. Сухая строительная смесь для укрепления и стабилизации грунта/*Пепеляев С. Б.*; заявитель и патентообладатель ООО «НАЦИОНАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ». №2018145701; заявл. 24.12.2018; опубл. 23.10.2020, Бюл. №18.
28. Пат. 2771688 Российская Федерация, МПК E02D 3/12, E01C 3/04, E01C 7/36, C04B 28/08, C04B 28/28, C04B 111/20. Состав для укрепления грунта/*Митюкова Е. В., Волохов С. В., Гунин С. О.* [и др.]; заявитель и патентообладатель ПАО «Северсталь». №2021131333; заявл. 27.10.2021; опубл. 11.05.2022, Бюл. №14.
29. Пат. 2779688 Российская Федерация, МПК C04B 28/04. Золюгрунт для дорожного строительства/*Слободчикова Н. А., Плюта К. В.*; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ИРНИТУ». №2021139523; заявл. 29.12.2021; опубл. 12.09.2022, Бюл. №26.
30. Пат. 2785742 Российская Федерация, МПК E02D 3/12, E01C 3/04, E01C 7/36, C04B 28/04, C04B 111/20. Фиброцементогрунтовая смесь/*Чудинов С. А.*; заявитель и патентообладатель Уральский гос. лесотех. ун-т. №2022105876; заявл. 05.03.2022; опубл. 12.12.2022, Бюл. №35.
31. *Струков А. А., Кочетков А. В., Андронов С. Ю.* Применение ферментного стабилизатора «Дорзин» в дорожном строительстве // *Строительные материалы*. 2014. №1. С. 80-83.
32. Укрепление грунтов модифицирующей добавкой «ДС-35» при строительстве сельских дорог/*А. Р. Юсупов, В. И. Черкашин, М. С. Атемов, С. А. Мамаев* // *Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН*. 2017. №71. С. 32-35.
33. *Фурсов С. Г., Кондратюк Д. В., Федоров П. Л.* Опыт укрепления грунтов // *Мир дорог*. 2011. №53. С. 26-27.
34. *Чудинов С. А.* Повышение эффективности укрепления грунтов портландцементом со стабилизирующей добавкой // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. №5.
35. *Ядыкина В. В.* Влияние стабилизирующих добавок на свойства укрепленных портландцементом грунтов/*В. В. Ядыкина, Е. А. Лукаш, Д. С. Кондрашов* // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова*. 2017. №11. С. 6-10. DOI 10.12737/article_5a001aaae4b3.57860955
36. *Kashoborizi, O., Aturinda, E., Jjuuko, S., & Kalumba, D.* (2017). Use of Crushed Concrete Aggregate Waste in Stabilization of Clayey Soils for Sub Base Pavement Construction. 9th South African Young Geotechnical Engineers Conference, 13, 14 & 15 September 2017. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116792
37. *Kerni, V., Sonthwal, V. K., & Jan, U.* (2015). Review on stabilization of clayey soil using fines obtained from demolished concrete structures. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4 (5), 296-299. DOI: 10.15680/IJRSET.2015.0405106
38. *Kharun, M., & Svintsov, A. P.* (2017). Soil-cement ratio and curing conditions as the factors of soil-concrete strength. In *Key Engineering Materials* (Vol. 730, pp. 358-363). Trans Tech Publications Ltd. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.730.358
39. *Kianimehr, M., Shourijeh, P. T., Binesh, S. M., Mohammadinia, A., & Arulrajah, A.* (2019). Utilization of recycled concrete aggregates for light-stabilization of clay soils. *Construction and Building Materials*, 227, 116792. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2019.116792
40. *Ngo'o Ze, A., Ndzié Mvindi, A. T., Lobe Bille, J. F., Mvindi Mvindi, W. P., Mebouinz, D. L., & Onana, V. L.* (2022). Ex-situ and In-situ Manufacturing Procedures for Optimizing the Characteristics of a Soil Concrete Based on Lateritic Gravels and Granitic Aggregates: Application in Road Construction. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 1-14. DOI:10.1007/s42947-022-00231-5

41. Sahile, K., Krishnaiah S, Sarath Chandra (2021). Utilization of Red Mud-Fly Ash Reinforced with Cement in Road Construction Applications. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021. DOI:10.1155/2021/3728652

THEORETICAL ASPECTS OF SOIL STRENGTHENING IN ROAD CONSTRUCTION

© M. D. Kabalin, A. V. Zamuruev, A. V. Kurlykina, D. A. Kuznetsov
BSTU named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russia

In many regions of our country, there is a shortage of high-quality mineral materials suitable for the construction of bases and structural layers of pavement. Because of this, there is an urgent need to deliver materials over long distances, causing a slowdown in construction and an increase in cash costs. Improving the characteristics of the soil and increasing its bearing capacity through the use of local raw materials is an urgent task facing the road builders. **Results.** The review article discusses the publications of leading scientific researchers in the road industry, whose work is aimed at studying soils reinforced with various mineral binders. An analysis of literary sources demonstrates that dust waste from electrostatic precipitators, ash and slag from thermal power plants, phosphogypsum can be effectively involved in the production of complex mineral binders to strengthen subgrade soils and road foundations, allowing synergy to be achieved in solving the problems facing industries.

Keywords: mineral binders, subgrade, local materials, soil stabilization, recyclable materials, ash, slag, phosphogypsum.

REFERENCES

1. Zhigailov, A. A., Shuvaev, A. N. and Kuyukov, S. A (2011). "Influence of the degree of compaction on the main characteristics of cement soil with a polymer additive". *Scientific and technical bulletin of the Volga region: scientific and technical journal*. №5, pp. 131-134.
2. Andreeva, A. V., Burenina, O. N., Davydova, N. N. and Savvinova, M. E. (2015). "Study of the influence of soil strengthening methods". *Science and Modernity*. №38, pp. 147-150.
3. Kochetkova, R. G. (2014). "The effectiveness of the use of new generation stabilizers". *Roads of Russia*. №5, pp. 103-108.
4. Lenkov, D. D. (2021). "Strengthening soils with mineral binders". *Scientific work of youth – the forest complex of Russia; materials of the XVII All-Russian (national) scientific and technical conference*. Yekaterinburg, Russia, April 05-17, pp. 114-116.
5. Lyshchik, P. A. and Naumenko, A. I. (2014). "New composite materials for strengthening road soils". *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*. Vol. 2, №3-3 (8-3), pp. 200-202.
6. Lyshchik, P. A. and Naumenko, A. I. (2022). "Strengthening of local soils with a complex binder for road construction". *Les-Nauka-Innovations-2022: state and prospects for the development of the forest complex in the CIS countries; collection of articles of the II International Scientific and Technical Conference within the framework of the International Youth Forum on Forestry Education*. Minsk, Belarus, December 06-09, pp. 95-100.
7. Malinin, A. G., Gladkov, I. L., Zhemchugov, A. A. (2013). "Strengthening of weak soils at the base of the highway embankment using jet grouting technology". *Transport construction*. №1, pp. 4-7.
8. Vdovin, E. A., Mavliev, L. F., Bulanov, P. E., Kazan State University of Architecture and Engineering (2014), *The design of pavement*, RU, Pat. 138502.
9. Stroganov, V. F., Vdovin, E. A., Mavliev, L. F., Bulanov, P.E. Kazan State University of Architecture and Engineering (2014), *Construction of pavement*, RU, Pat. 138505
10. Vdovin, E. A., Mavliev, L. F., Bulanov, P. E., Khokhlova, O. A., Kazan State University of Architecture and Engineering (2014), *The design of pavement*, RU, Pat. 148798
11. Akhsanov, R. A., Sharifullin, M. S., Mavliev, L. F., applicant and patent holder Akhsanov R.A.

- (2016), *Construction of pavement*, RU, Pat. 163494.
12. Smirnov, D. S., Garaev, T. R., Mavliev, L. F., Kazan State University of Architecture and Engineering (2018), *Construction of pavement*, RU, Pat. 177391.
 13. Strokova, V. V., Karatsupa, S. V., Dmitrieva, T. V., Lyutenko, A. O., Nikolaenko, M. A. Belgorod Shukhov State Technological University (2012), *The composition of the soil-concrete mixture, the soil-concrete base of the pavement, the method of its construction*, RU, Pat. 2445285.
 14. Poluektov, P. T., Perov, V. A., Khomyakov, A. A., Ermolin, D. Yu., applicant and patent holder Poluektov P. T., Perov V. A., Khomyakov A. A., Ermolin D. Yu. (2014), *A method of strengthening natural soils and mineral materials for road construction*, RU, Pat. 2509188.
 15. Vdovin, E. A., Mavliev, L. F., Shaikhutdinov, A. N., Kazan State University of Architecture and Engineering (2012), *Soil mixture for road construction*, RU, Pat. 2519283.
 16. Mitrofanov, N. G., Panov, I. V., Rumyantsev, D. A., Shabanova, T. N., Zenkin I. N., Tyumen State University of Architecture, Building and Civil Engineering (2014), *Composition for the arrangement of pavement bases and other structures*, RU, Pat. 2520118.
 17. Zabolotsky, S. S., LLC "Sibpromstroy", Zabolotsky S. S. (2015), *Soil fortified road construction*, RU, Pat. 2541009.
 18. Vdovin, E. A., Mavliev, L. F., Stroganov, V. F., Bulanov, P. E., Kazan State University of Architecture and Engineering (2013), *Soil mixture for road construction (options)*, RU, Pat. 2545228.
 19. Zabolotsky, S. S., LLC "Sibpromstroy", Zabolotsky S. S. (2015), *Road-building composite material*, RU, Pat. 2551560.
 20. Vdovin, E. A., Mavliev, L. F., Bulanov, P. E., Asadullina, A. R., Zakharov, V. V. Ibragimov, I. F., Gallyamov, B. F., Kazan State University of Architecture and Engineering (2016), *Composition for road construction*, RU, Pat. 2603682.
 21. Cherepov, V. D., Demintseva, E. A., LLC "Innovative Building Materials" (2017), *Design of pavement for motor roads of the V technical category*, RU, Pat. 2606743.
 22. Chernogil, V. B. applicant and patent holder Chernogil V. B. (2017), *Reinforced clay soil*, RU, Pat. 2621802.
 23. Komolov, V. B., applicant and patent holder Komolov V. B. (2018), *Soil strengthening composition, soil strengthening method and soil mixture*, RU, Pat. 2643869.
 24. Lukashuk, A. G., Chernogil, V. B., Podolsky, V. P., applicant and patentee Lukashuk A. G., Chernogil V. B., Podolsky V. P. (2018), *Reinforced clay soil*, RU, Pat. 2645316.
 25. Shmotiev, S. F., Pliner, S. Yu., Rozhkov, E. V., Sychev, V. M., Milovidova, O. V., LLC PKF "Stroyprogress", *Composition for stabilization of natural and technogenic soils*, RU, Pat. 2670468.
 26. Konovalova, N. A., Pankov, P. P., Dabizha, O. N., Dabizha, O. N., Yarilov, E. V., Yakovlev, D. A., Irkutsk State Transport University (2019), *The composition of the soil-concrete mixture and the method of its application in construction*, RU, Pat. 2691042.
 27. Pepelyaev, S. B., LLC "National resources" (2020), *Dry mortar for strengthening and stabilizing the soil*, RU, Pat. 2734749.
 28. Mityukova, E. V., Volokhov, S. V., Gunin, S. O., Solovieva, V. I., PAO Severstal (2022), *Composition for strengthening the soil*, RU, Pat. 2771688.
 29. Slobodchikova, N. A., Plyuta, K. V., Irkutsk National Research Technical University (2022), *Soil for road construction*, RU, Pat. 2779688.
 30. Chudinov, S. A., Ural State Forest Engineering University (2022), *Fiber cement soil mixture*, RU, Pat. 2785742.
 31. Strukov, A. A., Kochetkov, A. V. and Andronov, S. Yu. (2014). "The use of the enzyme stabilizer "Dorzin" in road construction". *Stroitelnye materialy*. № 1, pp. 80-83.
 32. Yusupov, A. R., Cherkashin, V. I., Atemov, M. S. and Mamaev, S. A. (2017). "Strengthening of soils with a modifying additive "DS-35" during the construction of rural roads". *Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. № 71, pp. 32-35.
 33. Fursov, S. G., Kondratyuk, D. V. and Fedorov, P. L. (2011). "Soil strengthening experience". *World of Roads*. № 53, pp. 26-27.

34. Chudinov, S. A. (2014). "Improving the efficiency of soil strengthening with Portland cement with a stabilizing additive". *Modern problems of science and education*. № 5.
35. Yadykina, V. V., Lukash, E. A. and Kondrashov, D. S. (2017) "Influence of stabilizing additives on the properties of Portland cement-reinforced soils". *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. № 11, pp. 6-10. DOI 10.12737/article_5a001aaaae4b3.57860955
36. Kashoborozi, O., Aturinda, E., Jjuuko, S., & Kalumba, D. (2017). "Use of Crushed Concrete Aggregate Waste in Stabilization of Clayey Soils for Sub Base Pavement Construction". *9th South African Young Geotechnical Engineers Conference*. 13, 14 & 15 September, 2017. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116792
37. Kerni, V., Sonthwal, V. K., & Jan, U. (2015). "Review on stabilization of clayey soil using fines obtained from demolished concrete structures". *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. Vol. 4 (5), pp. 296-299. DOI: 10.15680/IJRSET.2015.0405106
38. Kharun, M., & Svintsov, A. P. (2017). "Soil-cement ratio and curing conditions as the factors of soil-concrete strength. In Key Engineering Materials". *Trans Tech Publications Ltd*. Vol. 730, pp. 358-363. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.730.358
39. Kianimehr, M., Shourijeh, P. T., Binesh, S. M., Mohammadinia, A., & Arulrajah, A. (2019). "Utilization of recycled concrete aggregates for light-stabilization of clay soils". *Construction and Building Materials*. Vol. 227, 116792 p. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2019.116792
40. Ngo'o Ze, A., Ndzié Mvindi, A. T., Lobe Bille, J. F., Mvindi Mvindi, W. P., Mebouinz, D. L., & Onana, V. L. (2022). "Ex-situ and In-situ Manufacturing Procedures for Optimizing the Characteristics of a Soil Concrete Based on Lateritic Gravels and Granitic Aggregates: Application in Road Construction". *International Journal of Pavement Research and Technology*, pp. 1-14. DOI:10.1007/s42947-022-00231-5
41. Sahile, K., Krishnaiah S, and Sarath, Chandra (2021). "Utilization of Red Mud-Fly Ash Reinforced with Cement in Road Construction Applications". *Advances in Materials Science and Engineering*. DOI:10.1155/2021/3728652

ДИАГНОСТИКА СТЕПЕНИ ПОВРЕЖДЕНИЙ И АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ ВО ВРЕМЕНИ

© М. Н. Кокоев¹, В. М. Казиев²

¹КБГУ им. Х. М. Бербекова, Нальчик, Грозный

²КБГАУ, Нальчик, Грозный

Две группы конструктивных, долго и коротко живущих элементов зданий и сооружений рассматриваются как системно-организованная структурная целостность, обладающая заданными эксплуатационными качествами, но при этом имеет различные функциональные отношения при различных физических износах, которые представляют собой вид нарастающего совокупного старения, для которого необходимы мероприятия по обеспечению нормативного технического состояния при минимальных эксплуатационных затратах на основе математического моделирования функции запрограммированного старения, что при конкретном выборе структуры математической модели может достаточно точно и своевременно контролировать техническое состояние системы в целом на совокупной базе визуального, инструментального и расчетного комплекса полученных данных о физическом износе в каждый конкретный момент времени.

Ключевые слова: здания, сооружения, конструкции, физический износ, математическая модель.

Формат цитирования: Кокоев М. Н., Казиев В. М. Диагностика параметров физического износа и алгоритм определения категории технического состояния зданий // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIX. № 3 (33). С. 77-85. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.51.17.008

Введение.

Изменение размеров, формы, массы или состояния изделия вследствие разрушения поверхностного или внутреннего слоя, нарушение исправного состояния определяется как повреждение (износ). Ухудшение технических и связанных с ними эксплуатационных показателей здания происходит в виде запрограммированного снижения несущей способности и эксплуатационных характеристик конструкций, вызванное объективными причинами жизнедеятельности человека и природно-климатическими факторами.

Основная часть.

Ухудшение технических и эксплуатационных характеристик прямо пропорционально связано со старением конструкционных материалов. Интенсивность старения зависит от физических, механических, химических факторов, места, способа, средства воздействия и для каждого элемента конструкции различна во времени. Продолжительность нормальной эксплуатации здания без капитального ремонта в среднем будет равна времени

естественного износа [13], эксплуатационных показателей, коротко живущих элементов конструкции, см. рис. 1, оптимальная долговечность зданий и сооружений.

Степень повреждения отдельных элементов и в целом системы достоверно оценивается путем сравнения признаков физического износа, обнаруженных в результате визуального и инструментального обследования, с их нормативными величинами [16]. Если рассматриваемый участок обладает всеми признаками износа, которые соответствуют определенному интервалу значений, то физический износ принимается равным верхней границе интервала. Если диагностирован только один из нескольких признаков повреждения, то физический износ принимается равным нижней границе интервала, в ином случае интерполируем в зависимости от размеров, характера и степени имеющихся повреждений [11, 17, 18].

Степень повреждения конструкции, элемента или системы, имеющих различную степень износа отдельных участков, определяется по формуле 1:

$$\Phi_{ki} = \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_i \frac{P_i}{P_k}, \quad (1)$$

где: Φ_{ki} – степень повреждения конструкции, элемента или системы в целом, %; Φ_i – степень повреждения участка конструкции, элемента или системы, %; P_i – размеры (площадь или длина) поврежденного участка, м² или м; P_k – размеры всей конструкции, м² или м; n – число поврежденных участков.

Предельный срок службы, в течение которого здания не утрачивают заданных эксплуатационных качеств, определяется сроком службы его основных конструкций и варьируется от 150 до 50 лет, а эксплуатационная пригодность характеризуются конструктивными элементами, обладающими меньшей долговечностью, со сроком службы от 50 до 6 лет [11], которые устаревают значительно быстрее. В первую группу конструктивных параметров входят элементы не влияющие непосредственно на несущую систему в целом, это коротко живущие/сменяемые элементы.

Для данной группы мы принимаем линейную функциональную зависимость короткоживущих элементов $f_{JK}(t)$ с действительными значениями Φ_{ki} , вида:

$$f_{JK}(t) = \sum_{k=0}^n \Phi_{ki} \varphi_k(t) \quad (2)$$

$f_{JK}(t)$

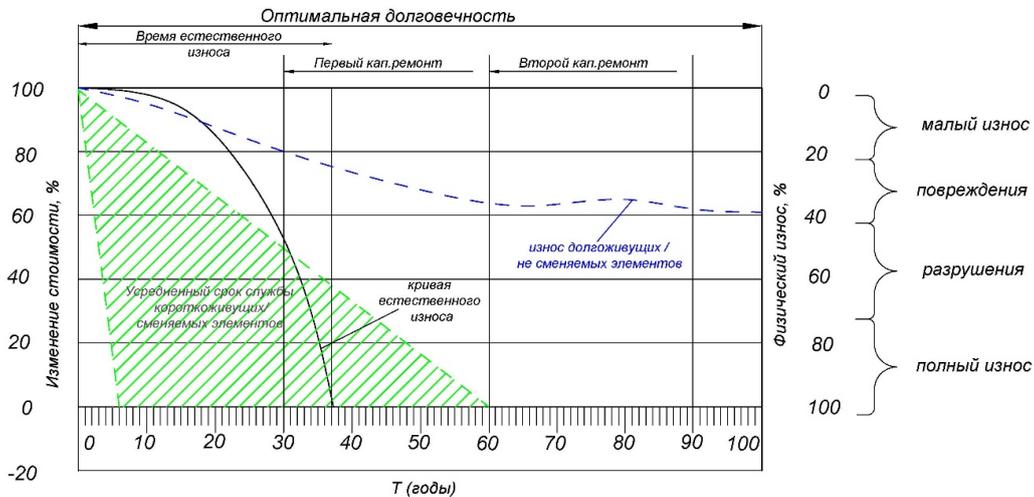


Рис. 1. Оптимальная долговечность зданий и сооружений

К рассмотрению принята линейная аппроксимация, при которой выбрана функция $\varphi(x, \vec{c})$, линейно зависящая от параметров физического износа Φ_{ki} ($i = 1, 2, \dots, n$), в виде многочлена:

где $\{[\varphi]_k(x)\}$ – линейно независимые функции.

При создании зависимости мы пытались соответствовать критериям гомогенности, аддитивности, инвариантности, статической линейности.

Если первую группу признаков физического износа мы можем с достоверной точностью идентифицировать фактически только визуальными средствами обследования, то вторая группа, в которую входят элементы, определяющие техническое состояние несущих систем, это долго живущие/несменяемые конструкции, и в связи с их неоспоримым влиянием на безопасность жизнедеятельности людей необходимо в обязательном порядке добавлять к визуальному инструментальное обследование, как исчерпывающий источник информации о прочности и надежности.

Степень повреждения зданий, прослуживших 40-50 лет, составляет 40-50%, возраста пропорционально времени, а в дальнейшем износ сохраняется на максимальном уровне, при условии регулярного проведения ремонтов, см. рис. 1, кривая износа долгоживущих/несменяемых элементов.

При достижении объектом предельно допустимой величины повреждений несущих систем в 50% требуется капитальный ремонт здания [1, 2], с целью сохранить прочностные, физические и другие свойства, устанавливаемые при проектировании и обеспечивающие его нормальную эксплуатацию в течение расчетного срока службы. «Но если восстановительные мероприятия на объекте проводиться не будут, то риск аварии будет увеличиваться, и время достижения предельного значения определяет

предельный ресурс-срок службы этого объекта» [1, 2, 4, 14, 19].

Если переход объекта из нормативного в работоспособное и далее в ограниченно работоспособное техническое состояние характеризуется минимальным риском аварий R_n , то переход системы из ограниченно-работоспособного в аварийное состояние характеризуется практически полным исчерпанием возможности сопротивляться действующим на объект нагрузкам и максимальным рискам аварийных ситуаций, см. таблицу 2.

Таблица 2. Функциональная зависимость $f(J)$ состояния здания во времени [6, 7, 8, 9, 10, 12, 16, 19, 20]

| Наименование конструктивных элементов здания | Усреднённые удельные веса элементов конструкции, % | Удельные веса элемента, % | Усреднённый срок службы, лет |
|---|--|---------------------------|------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. Фундаменты* | 6.0 | – | 150.0 |
| 2. Стены* | 28.0 | 86.0 | 125.0 |
| 3. Перегородки | – | 14.0 | 125.0 |
| 4. Перекрытия* | 15.0 | – | 150.0 |
| 5. Кровля | 5.0 | 40.0 | – |
| – оцинкованная листовая сталь | – | – | 25.0 |
| – рулонные материалы | – | – | 12.0 |
| – покрытие оцинкованной листовой кровельной сталью | – | – | 50 |
| 6. Крыша* | – | 60.0 | 150.0 |
| 7. Полы, в том числе: | 11.0 | – | – |
| – линолеум | – | – | 15.0 |
| – керамическая плитка | – | – | 60.0 |
| – цементные с мраморной крошкой | – | – | 30.0 |
| 8. Проемы, в том числе: | 9.0 | | |
| – окна | – | 56.0 | 50.0 |
| – двери | – | 44.0 | 50.0 |
| 9. Отделочные работы | 4.0 | – | 50.0 |
| 10. Внутренние сантехнические и электротехнические устройства, в том числе: | 15.0 | – | – |
| – отопление | 4.0 | – | 40.0 |
| – холодное водоснабжение | 1.0 | – | 15.0 |
| – горячее водоснабжение | 1.0 | – | 10.0 |
| – канализация | 4.0 | – | 15.0 |
| – газоснабжение | 2.0 | – | 20.0 |
| – электроснабжение | 3.0 | – | 30.0 |
| 11. Прочие, в том числе: | 7.0 | – | – |
| – лестницы* | – | 51.0 | 80.0 |
| – остальное | – | 49.0 | 30.0 |
| Итого: короткоживущие элементы | 47.4 | – | – |
| Итого: долгоживущие элементы | 52.6 | – | – |
| Итого: | 100 | – | |

* – долгоживущие – несущие системы зданий

| Степень повреждения, %; ФКі = 1, 2, ..., n | Визуальное обследование | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
|--|---|--|--|---|----------------------|-------|--|--|---|
| | Усредненное состояние несменяемых/долгоживущих конструкций зданий. Ф (х,с) | Усредненное состояние сменяемых/короткоживущих конструктивных элементов. Ф (х,с) | | | | | | | |
| 1 | | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0-20 | Повреждений, деформаций, следов устранения дефектов нет. | Полы и потолки ровные, горизонтальные, трещин в покрытиях и отделке нет. | Нормативное техническое – количественные и качественные значения параметров всех критериев оценки технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений, включая состояние грунтов, соответствуют установленным в проектной документации значениям с учетом пределов их изменения. | Увеличение периода собственных колебаний 0-4% | Хорошее | 0-11 | текущий профилактический ремонт здания | K < 0,4 – текущий ремонт; | |
| 21-40 | Повреждений, дефектов и искривлений нет. Имеются местами следы различных ремонтов, небольших трещин в проемах и перемычках. | Полы и потолки ровные, возможны волосяные трещины. На ступенях лестниц небольшое число повреждений. Окна и двери открываются с некоторым усилием. | | | Удовлетворительное | 12-36 | | | |
| 41-60 | Имеется множество следов ремонтов, трещин и участков наружной отделки, места искривления горизонтальных линий и следы их ликвидации. Износ кладки стен характеризуется трещинами между блоками. | Полы в отдельных местах зыбкие и с отклонениями от горизонтали. В потолках много трещин, заделанных и появившихся вновь. Отслаивания покрытия пола. Большое число поврежденных ступеней. | Работоспособное техническое – некоторые из числа оцениваемых контролируемых параметров не отвечают требованиям проекта или норм, но имеющиеся нарушения требований в конкретных условиях эксплуатации не приводят к нарушению работоспособности, и необходимая несущая способность конструкций и грунтов обеспечения с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений обеспечивается. | Увеличение периода собственных колебаний от 5-10% | Неудовлетворительное | 37-90 | выборочный капитальный ремонт | 0,4 < K < 0,6 – выборочный капитальный | |

| | | | | | | | | |
|--------|---|--|---|--|----------|--------|--|---|
| 61-80 | Имеются открытые трещины различного происхождения, в том числе от износа и перегрузки кладки поперек кирпичей. Большое искривление горизонтальных линий и местами отклонение стен от вертикали. | Большое отклонение от горизонтали в полах, завальность. Массовое повреждение и отсутствие покрытия пола. В помещениях много мест с обвалившейся штукатуркой. Много перекошенных окон и дверей. Большое число поврежденных ступеней, перекосы маршей. | Ограниченно работоспособное техническое – имеются крены, дефекты и повреждения, приводящие к снижению несущей способности, но отсутствует опасность внезапного разрушения, потери устойчивости или опрокидывания, и функционирования конструкций и эксплуатация здания и сооружения возможны и при контроле технического состояния, либо при проведении необходимых мероприятий по восстановлению или усилению конструкций и (или) грунтов основания. | Увеличение периода собственных колебаний от 11-49%; | Ветхое | 91-120 | Комплексный капитальный ремонт – реконструкция | $0,6 < K < 1,0$ – комплексный капитальный |
| 81-100 | Участки стен разрушены, деформированы в проемах. Трещины по перемычкам, проемам и по всей поверхности стен, большие искривления горизонтальной линий и выпучивание стен. | Потолки с большими перекосами и уклонами, заметные прогибы. Окна и двери с гнилью в узлах и брусках. В маршах лестниц не хватает ступеней и перил. Внутренняя отделка полностью разрушена. | Аварийное – характеризуется повреждениями и деформациями, свидетельствующими об истерпании несущей способности и опасности обрушения и (или) характеризующаяся кренами, которые могут вызвать потерю устойчивости. | Увеличение периода собственных колебаний 50-95% и выше | Негодное | - | Снос | $K > 1,0$ – Комплекс мер по модернизации объекта/снос |

*- линейно зависящие параметры $F_k(i = 1, 2, \dots, n)$

** – линейно независимые функции, $\varphi(x, c)$ – долго живущие/несущие, коротко живущие конструктивные элементы.

Для определения границ динамических критериев в рамках степени поврежденности, см. таблицу 2, увеличение периода собственных колебаний позволяет непрерывно разграничить категорию технического состояния по качественно-количественным условиям, используя закон экспонентного распределения Рэлея (4) [4]:

$$f(r) = (r-1)/\sigma^2 \cdot \exp[-(r-1)^2/2\sigma^2] \quad (4)$$

где \exp – экспонента – показательная функция $f(x) = \exp(x) = e^x$, где $e \approx 2,718$ – число Эйлера.

Для выбора модели функциональной зависимости технического состояния зданий во времени используем формулу (5) [3], обоснованную теорией надежности [9] и исследованиями по исчерпанию ресурса конструкций [11, 12, 13]

$$J_d = J(t) = 1 - \exp\{-\kappa(R-l)\} \quad (5)$$

где: J_d – фактическая степень повреждения зданий (долго живущие элементы), $J(t)$ – фактическая степень повреждения долго живущих систем на момент обследования; R – фактический риск аварии.

Для разграничения категорий технического состояния и степени поврежденности используем положение теории прогнозирования риска аварии, где показатель функции ресурса конструкции зависит от уровня фактического риска на момент ввода объекта в эксплуатацию или эксплуатируемого здания, а границы категорий технического состояния в рамках степени повреждения выражаются через увеличение периода собственных колебаний и определяются по формуле 6 [8]:

$$J = (T_\phi - T_p)/T_p \cdot 100\% \quad (6)$$

где: T_ϕ – фактический период собственных колебаний здания,

T_p – расчетный период собственных колебаний.

На базе полученных диагностических данных о качественных характеристиках периода собственных колебаний [3] путем сравнения с нормативными показателями по ГОСТ Р 54859-2011 [5, табл. Ж.1] устанавливаем сте-

пень эксплуатационной пригодности несущей способности и эксплуатационных характеристик конструкций.

Изменение границ периода собственных колебаний в ту или иную сторону позволяет количественно оценить степень повреждения и категорию технического состояния несущих систем на основании сопоставления фактических значений количественно оцениваемых признаков со значениями этих же признаков, установленных проектом или нормативным документом. «В рамках от 0 до 4% – характеризует нормативное, от 5 до 10% – работоспособное, от 11 до 49% – ограниченно работоспособное, 50-95% и выше – аварийное состояние» [4], см. таблицу 2 и, сопоставляя с визуальным обследованием объекта, получаем простой и доступный способ определения технического состояния для возмещения утраченных эксплуатационных характеристик.

Две группы конструктивных элементов рассматриваются как системно организованная структурная целостность, обладающая заданными эксплуатационными качествами, в которой группы конструктивных элементов взаимопроникают друг к другу и к системе в целом, но при этом имеют различные функциональные отношения при различных физических износах.

Исходя из такого понимания, конечная форма функциональной зависимости $f(J)$ состояния здания во времени будет записана в виде формулы 7:

$$f(J) = \sum_{k=0}^n \Phi \varphi_k(x) \rightarrow J_d(t) \quad (7)$$

Заключение.

Степень повреждения здания – это вид нарастающего совокупного старения, для которого необходимы мероприятия по обеспечению нормативного технического состояния при минимальных эксплуатационных затратах на основе математического моделирования функции запрограммированного старения. Это означает, что при точном выборе структуры математической модели можно достаточно точно и своевременно контролировать техни-

ческое состояние конструктивных элементов и расчетного комплекса полученных данных по отдельности и системы в целом на совокупности о физическом износе в каждый конкретный момент времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрашитов В. С.* Техническая эксплуатация и обследование строительных конструкций/В. С. Абрашитов. Москва, 2002. С. 20-54.
2. *Абуханов А. З.* Механика грунтов/А. З. Абуханов. Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. 352 с. ISBN: 5-222-08984-3
3. *Галиуллин Р. Р.* Комплексная оценка надежности строительных конструкций/Р. Р. Галиуллин, В. С. Изотов // Региональный отраслевой журнал «Стройэкспертиза». №3. 2007. С. 30-31.
4. *Галиуллин Р. Р.* Оценка технического состояния несущих систем зданий на основе динамических критериев. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Специальность: 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения. Казань 2012. 155 с.
5. ГОСТ Р 54859-2011. Здания и сооружения. Определение параметров основного тона собственных колебаний. Электронный текст документа подготовлен АО «Кодекс» и сверен по: официальное издание – М.: Стандартинформ, 2012. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092227> (дата обращения: 20.03.2023).
6. ГОСТ Р 58033-2017. Национальный стандарт Российской Федерации. Здания и сооружения. Словарь. Часть 1. Общие термины. URL: <https://docs.cntd.ru/document/556380967?ysclid=lhqetffc2463956819> (дата обращения: 11.04.2023).
7. ГОСТ 27751-2014. Межгосударственный стандарт. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения (введен в действие Приказом Росстандарта от 11.12.2014 № 1974-ст). URL: https://helpeng.ru/public/normdoc/gost/gost_27751-2014.pdf?ysclid=li07ccuonp737603941 (дата обращения: 20.04.2023).
8. ГОСТ Р 53778-2010. Национальный стандарт Российской Федерации. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Электронный текст документа подготовлен АО «Кодекс» и сверен по: официальное издание – М.: Стандартинформ, 2010. 68 с.
9. ГОСТ 27.002-2015. Межгосударственный стандарт надежность в технике. Термины и определения. Москва: Стандартинформ, 2016. 24 с.
10. ГОСТ 31937-2011. Межгосударственный стандарт. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Электронный текст документа подготовлен АО «Кодекс» и сверен по: официальное издание – М.: Стандартинформ, 2014. 60 с. URL: <http://str1.cntd.ru/strprof1/> (дата обращения: 20.01.2019).
11. *Казиев В. М., Маршенкулова Л. Р.* Диагностика эксплуатационной пригодности зданий жилой застройки в свете цифровой трансформации. Перспективы науки. 2021. №7 (142). С. 59-63.
12. *Казиев В. М.* Влияние технического состояния конструкций многоквартирного дома на старение и способы его возмещения/В. М. Казиев, Э. В. Казиев // Фундаментальные исследования. 2018. №4. С. 75-80.
13. *Казиев В. М.* Износ конструкций жилых зданий и его возмещение/В. М. Казиев, Ю. Х. Карданова // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. Нальчик, 2014. № 1 (57). С. 95-101.
14. Методика определения аварийности строений. Ведомственные строительные нормы. МГСН 301.03-97. Распоряжение 11 июля 2000 г. № 530-ПП. URL: <https://docs.cntd.ru/document/8306913?ysclid=li061o3yfp514782914> (дата обращения: 19.04.2023).
16. Методические рекомендации по формированию состава работ по капитальному ремонту многоквартирных домов, финансируемых за счет средств, предусмотренных Федеральным законом от 21 июля 2007 года № 185-ФЗ О Фонде содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства (утв. Госкорпорацией Фонд содействия реформирования

- нию ЖКХ 15.02.2013). Москва, 2008. 84 с.
17. О техническом регулировании (с изменениями на 2 июля 2021 года) (редакция, действующая с 23 декабря 2021 года). Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/?ysclid=li06aagmr240179632 (дата обращения: 20.04.2023).
 18. Приемка и ввод в эксплуатацию законченных строительством объектов. Основные положения. МГСН 8.01-00. Распоряжение 17 декабря 1997 г. № 1374-ПП/утвержден: Правительство Москвы, Постановление № 49 от 25.01.2000. URL: <http://stroysvoimirukami.ru/mgsn-801-00/> (дата обращения: 20.04.2023).
 19. Симионова Н. Е., Шеина С. Г. Методы оценки и технической экспертизы недвижимости: Учебное пособие. М.: ИКЦ «МарТ», 2006. 448 с. ISBN 5-241-00702-4
 20. СП 13-102-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. Электронный текст документа подготовлен АО «Кодекс» и сверен по: официальное издание – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2004. 31 с.

DIAGNOSTICS OF THE DEGREE OF DAMAGE AND ALGORITHM FOR DETERMINATION FUNCTIONAL DEPENDENCE OF THE TECHNICAL CONDITION OF BUILDINGS IN TIME

© M. N. Kokoev¹, V. M. Kaziev²

¹*KBSU named after Kh. M. Berbekov, Nalchik, Russia*

²*KBSAU, Nalchik, Russia*

Two groups of constructive, long-lived and short-lived elements of buildings and structures are considered as a system-organized structural integrity that has specified performance characteristics, but at the same time has different functional relationships with various physical wear, which is a type of increasing cumulative aging, for which measures are required to ensure the standard technical condition at minimum operating costs based on mathematical modeling of the programmed aging function, which, with a specific choice of the structure of the mathematical model, can accurately and timely control the technical condition of the system as a whole on the aggregate base of the visual, instrumental and calculation complex of the obtained data on physical wear in every particular moment in time.

Keywords: buildings, structures, wear and tear, mathematical model

REFERENCES

1. Abrashitov, B. S. (2002). Technical operation and inspection of building structures. Moscow, pp. 20-54.
2. Abukhanov, A. Z. (2006). Soil mechanics. Rostov-on-Don, Phoenix, 52 p. ISBN: 5-222-08984-3
3. Galiullin, P. P. and Izotov, V. S. 'Comprehensive assessment of the reliability of building structures'. *Regional industry magazine "Stroyekspertiza"*, № 3, 2007, pp. 30-31.
4. Galiullin, P. P. (2012). Assessment of the technical condition of load-bearing systems of buildings based on dynamic criteria. PhD thesis. Specialty: 05.23.01 – Building structures, buildings and structures. Kazan. 155 p.
5. Standartinform (2012). *Buildings and constructions. Determination of the parameters of the fundamental tone of natural vibrations*. The electronic text of the document was prepared by Kodeks JSC and verified against: official publication/GOST R 54859-2011. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200092227> (Accessed 03.20.2023).
6. Dictionary. Part 1. General terms. *National standard of the Russian Federation of buildings and structures*. GOST R 58033-2017. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/556380967?ysclid=lhqetfffc2463956819> (Accessed 04.11.2023).
7. Order of Rosstandart (put into effect by dated December 11, 2014). *Interstate standard. Reliability of building structures and foundations. Basic provisions*. (N 1974-st). GOST 27751-2014. Available at:

- 23https://helpeng.ru/public/normdoc/gost/gost_27751-2014.pdf?ysclid=li07ccuonp 737603941 (Accessed 20.04.2023).
8. Standartinform (2010). *National standard of the Russian Federation of buildings and structures. rules for inspection and monitoring of technical condition*. The electronic text of the document was prepared by Kodeks JSC and verified according to official publication. GOST R 53778-2010. Moscow, 68 p.
9. Standartinform (2016). *Interstate standard for reliability in technology. Terms and Definitions*. GOST 27.002-2015. Moscow, 24 p.
10. Standartinform (2014). *Interstate standard for buildings and structures. Rules for inspection and monitoring of technical condition*. The electronic text of the document was prepared by Kodeks JSC and verified according official publication. Moscow, 60 p. GOST 31937-2011. Available at: <http://str1.cntd.ru/strprof1/> (Accessed 01.20.2019).
11. Kaziev, V. M. and Marshenkulova, L. R. (2021). 'Diagnostics of the serviceability of residential buildings in the light of digital transformation'. *Prospects for Science*. №7 (142), pp. 59-63
12. Kaziev, V. M. and Kaziev, E. V. (2018). 'The influence of the technical condition of the structures of an apartment building on aging and methods of its compensation'. *Fundamental research*. №4, p. 75-80.
13. Kaziev, V. M. and Kardanova, Yu.Kh. (2014). 'Wear of structures of residential buildings and its compensation'. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. Nalchik, №1 (57), pp. 95-101.
14. *Methodology for determining the accident rate of buildings. Departmental building standards*. MGSN 301.03-97. Order of July 11, 2000 №530-PP. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/8306913?ysclid=li061o3yfp514782914> (Accessed 04.19.2023).
16. Methodological recommendations for the formation of the scope of work for major repairs of apartment buildings financed from funds provided for by Federal Law of July 21, 2007 N 185-FL. *On the Fund for Assistance to the Reform of Housing and Communal Services* (approved by the State Corporation Fund for Assistance to Reform of Housing and Communal Services 02/15/2013). (2008). Moscow, 84 p.
17. Federal Law of December 27, 2002 N184-FL. *On technical regulation* (as amended as of July 2, 2021) (version valid from December 23, 2021). Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/?ysclid=li06aagmru240179632 (Accessed 04.20.2023).
18. Order No. 1374-RP of December 17, 1997/approved by: Government of Moscow, Resolution №49 of January 25, 2000. *Acceptance and commissioning of completed construction projects. Basic provisions*. MGSN 8.01-00. Available at: <http://stroysvoimirukami.ru/mgsn-801-00/> (Accessed 04.20.2023).
19. Simionova, N. E. and Sheina, S. G. (2006). *Methods of assessment and technical expertise of real estate*. Textbook. ICC "MarT", Moscow, 448 p. ISBN 5-241-00702-4
20. SP 13-102-2003. Set of rules for design and construction (2004). *Rules for inspection of load-bearing building structures of buildings and structures*. The electronic text of the document was prepared by Kodeks JSC and verified according to official publication. Gosstroy of Russia, State Unitary Enterprise TsPP, Moscow, 31 p.

РАСШИРЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛЬЯ, ДОРОГ И МОСТОВ – СПОСОБ МИНИМИЗАЦИИ УЩЕРБА ОТ САНКЦИЙ

© М. Н. Кокоев

КБГУ им. Х. М. Бербекова, Нальчик, Россия

С марта 2022 г. введены санкции на экспорт российских нефти и нефтепродуктов, природного газа, каменного угля и стали в страны ЕС, Великобританию и США. Возможен экспорт российских углеводородов в Китай и страны Юго-Восточной Азии (ЮВА), но только с дисконтом в 30-40%. Потому что в Китае и ЮВА хорошо знают об ограниченной пропускной способности российских трубопроводных, железнодорожных и морских путей в восточном направлении. Кроме того, РФ испытывает большую конкуренцию на рынке углеводородов со стороны стран Персидского залива и Центральной Азии, стремящихся увеличить экспорт своих нефти и газа, и у которых низкие транспортные издержки. В российской стали Китай не нуждается. Он сам производит 58% от всего мирового производства стали, а Россия только 4%. Металлурги России часть экспорта металла переориентировали из Европы в Азию, но были вынуждены давать скидки до 25%. Поэтому России необходимо экспортные углеводороды, ставшие излишними, направлять внутрь страны для увеличения производства стали, цемента, кирпича, керамзита, стекла и других энергоемких строительных материалов с целью расширения строительства жилья, дорог с бетонным покрытием, мостов, взлетно-посадочных полос и аэропортов, проектирования и строительства современных предприятий – станкостроительных, подшипниковых, электротехнических, приборов электронной техники и др.

Ключевые слова: Санкции, экспорт углеводородов и стали, производство энергоемких материалов, строительство жилья и инфраструктуры.

Формат цитирования: Кокоев М. Н. Расширение строительства жилья, дорог и мостов – способ минимизации ущерба от санкций // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIX, № 3 (33). С.86-93. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.47.51.009

Введение

В связи с введением жестких санкций против России, экспорт в страны ЕС и США нефти и нефтепродуктов, природного газа, каменного угля и стали к концу 2022 года должен значительно снизиться вследствие напряженной геополитической ситуации, а также из-за проблем с финансированием сделок и организацией логистики. Многие компании сталкиваются с пересмотром ценовых условий действующих контрактов в связи с необходимостью учета потенциальных рисков при поставках российских экспортных продуктов. Есть большие трудности с фрахтом танкеров [1]. Кроме того, большинство крупных страховых компаний отказываются страховать морские перевозки российских углеводородов и стали из-за опасения вторичных санкций. В 2022 году страны ЕС, а также Великобритания и США, под влиянием резко изменившихся политических

условий решили ускорить так называемый «зеленый» переход в энергетике, то есть ускоренно перейти на возобновляемые источники энергии. Среди таких источников энергии в большинстве стран наибольшую величину занимает ветроэнергетика. Согласно Ассоциации ветроэнергетики Европы (WindEurope) по результатам 2019 года среди стран Европы первое место заняла в ветроэнергетике Дания – она вырабатывала 48% электричества из ветра, Ирландия – 33%, Португалия – 27%, Германия – 26% и Великобритания – 22% [2].

Одно из последних мест по ветроэнергетике принадлежит России (менее 1%) [3]. Фактически российская ветроэнергетика стартовала только в 2016 году, с тех пор как за развитие этой области энергетики взялась Госкорпорация «Росатом» [4]. Госкорпорация ставит перед собой задачи не только строительства ветроэлектростанций (ВЭС), но и создания системы

технического регулирования, подготовки кадров, организации локализации производства ВЭУ и сертификации. В новой экономической ситуации не известно, как удастся решить вопрос с локализацией – производством внутри России надежных гидравлических приводов лопастей ротора, мощных планетарных редукторов, генераторов, сильноточной электроники и систем управления для ВЭС.

В связи с вышеизложенным, когда все технологически развитые страны устремились в «зеленую» энергетику, куда девать России излишки углеводородов, на которые в недалеком будущем спрос сильно снизится.

О нефти и нефтепродуктах

Особенно сильно санкции ударят по экспорту российской нефти и нефтепродуктов. До введения санкций Россия экспортировала нефти около 110 млн. тонн и до 70 млн. т нефтепродуктов в год, основу которых составляли мазут и нефтя (прямогонный тяжелый бензин или иначе лигроин) [5]. На многих российских нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) из-за устаревшей технологии переработки нефти производились только нефтя и мазут. Нефтехимики из стран Евросоюза и США охотно покупали у России нефтя и мазут как ценные полуфабрикаты. Из российских нефтепродуктов на зарубежных НПЗ производили автобензин, авиационный керосин, дизельное топливо, смазочные масла и много других полезных продуктов.

Раньше от затоваривания нефтепродуктами российских НПЗ выручал почти неограниченный экспорт этих продуктов. Теперь же, в связи с резким падением экспорта из-за санкций, вскоре на НПЗ заполнятся нефтепродуктами все хранилища и танкеры на рейдах вблизи портов загрузки. Весь излишек мазута не может быть закуплен потребителями внутри России – мазут в оговоренных количествах покупают ТЭЦ, промышленные и городские котельные, а также флотский мазут, поставляемый пароходствам, рыболовным флотилиям и ВМФ. Больше внутри России нефтепродуктов продать нельзя.

Поскольку упали экспортные поставки, можно ли переработать нефтя так, чтобы по-

высить выход светлых продуктов и меньше оставалось мазута и нефтя от сырой нефтя? Чтобы повысить выход из нефтя ценных продуктов значительно выше 50%, нужно модернизировать технологию на многих российских НПЗ. Для этого нужны большие затраты – около одного миллиарда долларов на один средний НПЗ. Чтобы модернизировать завод, необходимо поставить оборудование для отгонки под вакуумом дистиллятов, выкипающих при различных интервалах температур в пределах от 350 до 500°C. Вакуумные дистилляты из мазута применяют как полупродукт для получения ряда моторных топлив, в процессах каталитического крекинга, гидрокрекинга и дистиллятных смазочных масел.

Кроме больших финансовых затрат, из-за санкций невозможно получить импортное оборудование для модернизации НПЗ, эффективные катализаторы и присадки для производства более ценных продуктов переработки нефтя. К сожалению, в России практика экспорта мазута и нефтя предпочтительнее их технологического передела для получения более ценных продуктов. Это поведение продолжается многие десятилетия – ценнейшие фракции переработки нефтя уходили задешево на экспорт [6], в то время как химики испытывали нехватку такого сырья и во многих случаях вынуждены закупать его по импорту.

В 2022 году вместе с уходом из России крупных иностранных нефтесервисных компаний (Weatherford International, Halliburton, Schlumberger и Baker Hughes и др.) придется забыть про новые технологии, оборудование, эффективный пропант с нейтральной плавуцностью и другие расходные материалы [7, 8]. Редким станет применение технологии гидроразрыва пласта, наклонное и горизонтальное бурение, без которых немисливо существенное повышение нефтеотдачи месторождений, а также добыча высоковязкой нефтя.

В конце мая 2022 года странами ЕС был принят шестой пакет санкций. Вследствие этого в декабре этого же года экспорт нефтя в страны Евросоюза сократится на 90% [9]. Это означает, что Россия в 2022 году должна снизить общую добычу нефтя на 20-30%,

в том числе из-за перепроизводства нефтепродуктов российскими НПЗ. Возникает вопрос, куда сбывать излишки нефти и продукты нефтепереработки?

Дело в том, что в Китай нельзя транспортировать существенно больше нефти по трубе, железной дорогой или танкерами, чем он сейчас получает. Поставлять из России в Индию излишки нефти тоже не получится. Ибо поставлять нефть с дисконтом 30-40%, да еще оплачивать все транспортные издержки из портов на Балтике и Черном море, например, до индийского порта в Мумбаи (Бомбей), – маловыгодная сделка. Поставлять нефть в Индию могут и страны Персидского залива. У этих стран себестоимость нефти много ниже и плечо доставки по морю в два раза короче. Да к тому же перед погрузкой в портах на танкеры российскую нефть нужно гнать по трубопроводам за многие тысячи километров от месторождений на Ямале и в Сибири.

Исходя из этого, видимо, России придется заглушать тысячи скважин с низким дебетом, в первую очередь на старых месторождениях. Из практики известно, что восстановление заглушенных скважин после многолетнего простоя в большинстве случаев обходится дороже, чем бурение новой скважины. В состоянии неопределенности вкладывать миллионы долларов в освоение новых месторождений со сроком окупаемости 8-10 и более лет никто не будет. Вследствие наложения санкций, подобные осложнения возникают с экспортом российского газа, каменного угля и стали.

Ситуация с производством в России угля, газа, стали и цемента

Страны Евросоюза планируют за два-три года полностью отказаться от поставок российского газа. Его большую часть заменит сжиженный природный газ (СПГ), поставляемый из США и стран Персидского залива. Для этого ускоренно возводят на побережьях Европы терминалы с криогенными хранилищами. Германия к началу 2023 года совсем откажется закупать российский газ. Поэтому ФРГ выделила три миллиарда евро на строительство двух терминалов для приема СПГ. В страны Южной Европы возможны поставки СПГ из Египта,

куда будет доставляться газ по трубопроводу из Израиля. ЕС сделал некоторые послабления в потреблении нефти и газа Чехии, Словакии и Болгарии. Им разрешено еще некоторое время после 2023 года пользоваться российскими углеводородами. При этом ЕС разрешил Венгрии и Словакии закупать российскую нефть до конца 2024 года.

За полярным кругом компания АО «Воркутауголь» занимается добычей угля для потребителей северо-запада России. Предприятие добывает коксующийся и энергетический уголь и является одним из крупнейших в России производителей коксующегося угля твердых марок. Основным потребителем угля из Воркуты десятки лет был Череповецкий металлургический комбинат, входящий в ПАО «Северсталь». В 2021 году «Северсталь» подписала соглашение о продаже компании «Воркутауголь» «Русской энергии», но угледобывающее предприятие продолжает поставлять уголь на металлургический комбинат в Череповце.

В середине марта 2022 года председатель совета директоров «Северстали» А. Мордашов с членами семьи и подконтрольные ему компании оказались под санкциями США. Также в SDN List (Specially Designated Nationals List – список, в котором перечислены люди, организации и корабли, с которыми гражданам США запрещено заниматься бизнесом) включены связанные с семьей Мордашовых компании. Поэтому компания «Северсталь» остановила поставки стали в страны ЕС и США. ПАО «Северсталь» производит много проката для строителей, в списке продукции – арматура, стальной прокат для мостостроения, строительства зданий и сооружений. Металлургические компании в России произвели стали в 2020 году 73,4 млн. т [10]. Среди них: НЛМК, ЕВРАЗ, ММК, Северсталь, Металлоинвест, Трубная металлургическая компания, Мечел.

Минстрой разработал план по увеличению использования стали при строительстве школ, детсадов и жилья, в том числе в программах реновации. Ранее были примеры строительства жилья на стальном каркасе (сталинские высотки в Москве), но массовой технология

не стала из-за дороговизны и приоритетного использования стали в военной промышленности [11].

Санкции налагают на Россию запреты на поставку в США и в страны ЕС не только стали, но и угля. Шахты Кузбасса свой уголь могут транспортировать по Транссибу в Китай. Например, угольная компания «Распадская» получала выручки от продаж в Европу 11%, а в Юго-Восточную Азию (ЮВА) – 32%. У «Мечела» экспорт угля в Европу приносил лишь 13% выручки, а в Китай и другие страны Азии – 56% [12]. Но поставки угля в Китай встречаются с трудностями – Транссиб многие десятки лет перегружен товарными поездами. РЖД периодически приостанавливают погрузку угля в Китай через пограничный переход Забайкальск – Маньчжурия из-за отказов в приеме поездов китайской стороной. Причина – теперь Китай принимает уголь преимущественно в контейнерах. Сокращение приема грузов Китаем приводит к скоплению на РЖД – нередко на границе скапливается в очереди свыше 70 поездов. Зная сложную ситуацию с санкциями со стороны Запада и транспортные трудности России на Восток железной дорогой и морским путем, страны ЮВА назначают цены с большой выгодой для себя.

В стали Китай не нуждается, так как доля КНР равна 58% в мировом производстве стали, а России всего 4%. Вьетнам – крупнейший покупатель проката в ЮВА, но Вьетнам на севере граничит с Китаем – главным экспортером стали в страны Азии. Металлурги России переориентировали часть поставок из Европы в Азию, но были вынуждены давать скидки до 25%. По многим причинам российским экспортерам сложно конкурировать с Китаем на рынке стали.

Основные энергоносители при производстве цемента в настоящее время природный газ, каменный уголь и мазут. Большинство цементных заводов в России (больше 80%), а в стране сейчас около 60 цементных заводов используют устаревший много десятилетий назад «мокрый способ» производства, так как большинство российских заводов построены до 1980-х годов. «Мокрый способ» производства цемен-

та, когда в глину после дробилки добавляют воду. При размучивании глины в воде, добавив измельченный известняк, получают шлам, содержащий 32-45% воды. При сушке и обжиге из шлама испаряют воду, на что затрачивают много тепловой энергии. Вода имеет самую большую теплоемкость и теплоту парообразования из всех известных в природе веществ. Поэтому сушка и обжиг сырья, приготовленного по «мокрому способу», требует большого количества топлива.

При «сухом способе» производства цемента все операции выполняют с сухими материалами, но тратят больше электроэнергии на измельчение сырья. При комбинированном способе сырьевую смесь готовят по мокрому способу, после чего ее максимально обезвоживают на вакуумных фильтрах или на прессах. В виде полусухой массы сырьевую смесь обжигают в печи. Большинство развитых стран используют «сухой способ» производства цемента.

Цементная промышленность России произвела в 2021 году около 60 млн. тонн цемента. РФ поставляет цемент на экспорт всего 2-4%, в основном в страны СНГ. В Европу цемент РФ почти не экспортирует, потому что российский цемент производят на большинстве заводов «мокрым способом», поэтому у него высокая себестоимость. Вторая причина заключается в том, что в Евросоюзе строгая и долгая процедура сертификации и не все предприятия готовы ее пройти.

В прошлые годы (до 2015 года) Россия импортировала цемент, в отдельные годы импорт достигал до 13% внутреннего потребления. Но после 2017 года импортные поставки из Турции, Китая и Южной Кореи стали снижаться.

Изначально на цементных заводах долгое время использовали уголь. Но когда в 1960-х гг. в Западной Сибири нашли большие месторождения газа и были построены магистральные трубопроводы, цементная промышленность стала переходить на газ. В отличие от угля, газ технологичен и более экологически безопасен. Основное количество сероводорода из природного газа удаляется на газоперераба-

тывающих заводах [13].

В угле содержится больше серы, чем в газе. Часто более 2,5-3%. Кроме того, при использовании угля даже после электрофильтров в атмосферу выбрасывается большое количество зольных частиц, размер которых несколько микрометров или менее микрона. Они наиболее вредны для здоровья, поскольку проникают глубоко в легкие. Особенно вредны зольные частицы, попавшие в легкие [14] и несущие на себе следы естественных радионуклидов Радия-226 и в значительно меньшей степени Тория-232.

На протяжении десятилетий увеличивался экспорт газа в Европу. Внутри России потребление газа тоже быстро росло в энергетике и промышленности, а также в коммунальном хозяйстве. Преимущественное применение газа на электростанциях, а несколько позже и в цементной промышленности, началось в 1980-е годы, когда было принято решение временно заменить уголь на электростанциях и на промпредприятиях газом для того, чтобы отечественное машиностроение получило время на подготовку новых эффективных и экологически безопасных технологий в угольной и ядерной энергетике. Явление получило название «газовой паузы» [15], которая длится по настоящее время. Однако газ – более дорогое топливо, чем уголь. В последние годы стоимость газа растет более быстрыми темпами, чем стоимость угля. Для цементных заводов это имеет особенное значение – в себестоимости цемента больше 50-60% составляет стоимость энергоносителей.

За прошедшие годы в странах Евросоюза вкладывали большие средства в технологические решения для снижения ущерба природе электростанциями и цементными заводами, работающими на угле. Новые технологии сжигания угля, применяемые в западных странах, не только более экологичны, но снижают общие затраты на топливно-энергетические ресурсы [16]. Например, известно, что угольные электростанции выбрасывают в атмосферу оксиды серы и азота. Для уменьшения выбросов вредных газов в некоторых странах в испарительную градирню выводят после элект-

рофильтра дымовые газы электростанций [17]. Тогда модернизированная испарительная градирня работает еще как большой скруббер. Существуют попытки частично заменить углеводородное топливо на альтернативные источники энергии в производстве строительной теплоизоляции в виде пеностекла и керамзита, не столь многотоннажного, как цемент [18]. На цементных заводах Республики Беларусь [19] успешно экспериментируют с альтернативным топливом при производстве портландцемента.

Таким образом, в связи с введением санкций на экспорт нефти и нефтепродуктов, природного газа, каменного угля и стали в страны ЕС, Великобританию и США для России существует, видимо, два пути:

1. Сократить производство санкционных углеводородов и стали, что грозит деградацией экономики и ростом безработицы.

2. Поэтому России необходимо экспортные углеводороды, ставшие излишними, направлять внутрь страны для увеличения производства стали, цемента, кирпича, керамзита, стекла и других энергоемких строительных материалов с целью расширения строительства жилья, дорог с бетонным покрытием, мостов, взлетно-посадочных полос и аэропортов, проектирования и строительства современных предприятий – станкостроительных, подшипниковых, электротехнических, приборов электронной техники и др.

Минимизация ущерба от «Великой депрессии» в США

Причины «Великой депрессии» в США 1929-1939 гг. иные и не похожи с трудностями нынешней России, возникшими с наложением многочисленных санкций. Но некоторые меры выхода из депрессии США можно использовать и в России с корректировкой на местные условия. Например, в США правительство создавало много общественных проектов. Это было сделано в соответствии с «Новым курсом» Франклина Рузвельта [20, 21], который стал президентом в 1933 г.

Непосредственно большой антикризисный эффект имели меры по найму за счёт государства сотен тысяч людей на строительство до-

рог. Были построены многие десятки тысяч километров качественных дорог. Только один пример для подтверждения качества построенных дорог – бетонный хайвей в четыре полосы Пенсильвания – Тернпайк (1938-1940) длиной 258 км по сильно пересеченной местности с шестью туннелями, который стал первым американским хайвеем и образцом для будущей сети скоростных автодорог. Участок дорожного полотна этого хайвея длиной 21 км в 1968 году был выведен из эксплуатации и вскоре заброшен. Прошло 53 года, когда участок дороги был без присмотра. Сегодня этот участок первого американского суперхайвея стал местом, притягивающим любителей заброшенных мест и велосипедистов, *которые любят его за ровный асфальт...* [22]. Конечно, Пенсильвания – это не Псковская область, но всё же и над Пенсильванией тоже идут дожди и снег.

Строительство дорог потребовало сооружения многих мостов. Один из знаменитых подвесных мостов «Золотые ворота», построенных в сложнейших условиях морского пролива всего за 3,5 года (1933-1937) над заливом между Сан-Франциско и округом Марин. Масса стального моста почти 900 тысяч тонн, конструкции моста состоят в основном из сортового проката и стальных канатов. Массивные основания для опор и анкеры для главных канатов выполнены из высококачественного гидротехнического бетона.

В те годы была спроектирована и создана авиационная инфраструктура США: только Управление общественных работ обеспечило строительство 547 авиационных полей и 100 других объектов в области авиации [23], над сооружением которых трудились десятки тысяч дорожников и строителей.

Одновременно в США осуществлялись большие вложения в природоохранные мероприятия, лесное хозяйство, борьбу с наводнениями и другие важные проекты. В частности, была построена гидроэлектростанция, по тем временам самая мощная в мире – 2080 МВт на реке Колорадо (годы постройки 1931-1936). Чтобы перегородить реку, была построена бетонная арочно-гравитационная

плотина высотой 221 м, носящая название «плотина Гувера» (Hoover Dam), в честь 31-го президента США, сыгравшего важную роль в её строительстве [24]. В строительстве участвовало около 5500 рабочих с целью ускорения строительства и для борьбы с безработицей в двух соседних штатах – Невады и Аризоны. Непосредственно возле гигантской стройки были построены бетонные заводы – в тело огромной плотины было уложено более 4 млн. кубометров бетона и 20 тысяч тонн стальной арматуры.

В годы острой фазы Великой депрессии были построены знаменитые небоскребы: Эмпайр-стейт-билдинг, Крайслер-билдинг, Уолл-стрит 40 и многие другие по всей стране. Депрессия началась в 1929 году. А упомянутые небоскребы сданы в 1930-1931 годах. Дело в том, что тогда строительство шло очень быстро. Например, на строительство 102 этажей Эмпайр-Стейт-Билдинг было затрачено лишь один год и 45 дней. Остальные стройки не уступали в производительности. Чтобы обеспечить стройки материалами, работали по всей стране металлургические, цементные, стекольные и другие заводы строительных материалов, на которых были заняты сотни тысяч рабочих.

Выводы

1. С марта 2022 г. введены жесткие санкции на экспорт российских нефти и нефтепродуктов, природного газа, каменного угля и стали в страны ЕС, Великобританию и США. Возможен экспорт российских углеводородов в Китай и страны ЮВА, но только с дисконтом в 30-40%. Потому что в Китае и других странах-импортерах знают об ограниченной пропускной способности российских трубопроводных, РЖД и морских путей в восточном направлении. Кроме того, РФ испытывает большую конкуренцию на рынке углеводородов со стороны стран Персидского залива и стран Центральной Азии, стремящихся увеличить экспорт своих нефти и газа, и у которых низкие транспортные издержки.

2. В российской стали КНР не нуждается. Китай сам производит 58% от всего мирового производства стали, а Россия только 4%. Вьет-

нам – крупнейший потребитель горячекатаного проката в ЮВА, но на севере Вьетнам граничит с КНР – главным экспортером стали в страны Азии. Металлурги России часть экспорта металла переориентировали из Европы в Азию, но были вынуждены давать скидки до 25%.

3. Поэтому России необходимо экспортные углеводороды, ставшие излишними, направлять внутрь страны для увеличения производства стали, цемента, кирпича, керамзита, стекла, теплоизоляции и других энергоемких строительных материалов с целью расширения строительства жилья, дорог с бетонным покрытием, мостов, взлетно-посадочных полос и аэропортов, проектирования и строительства современных предприятий – станкостроительных, подшипниковых, электротехнических, приборов электронной техники и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экспорт мазута из портов России сокращается. 2022. <https://www.argusmedia.com/ru/news/2316557-eksport-mazuta-iz-portov-rossii-sokrashchaetsia> (дата обращения: 15.06.2022).
2. Wind energy in Europe in 2019. Trends and statistics. 2020. [Энергия ветра в Европе в 2019 г. Тенденции и статистика.] <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-ind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2019.pdf> (дата обращения: 15.06.2022)
3. Общая мощность ВЭС в России преодолела планку в 2 ГВт <https://www.m.eprussia.ru/news/base/2021/8542486.htm> (дата обращения: 10 февраля 2022).
4. Госкорпорация «Росатом» вышла на рынок ветроэнергетики в 2016 году. <https://rosatom.ru/production/vetroenergetika/> (дата обращения: 10 февраля 2022).
5. Росстат. Экспорт мазута из России на декабрь 2021. OIL. Эксперт. 2022. <https://www.oilexp.ru/oilstat/report/rosstat-ehksport-mazuta-iz-rossii-na-dekabr-2021/260596/> (дата обращения: 15.06.2022).
6. *Аминев С. Х.* «Легкие фракции» для решения тяжелых проблем // «Neftegaz.RU». 2021. №4.
7. *Алекс Будрис.* Нефтесервисные компании прекращают инвестиции в России: что будет с добычей нефти. 2022. <https://www.forbes.ru/biznes/459711-nefteservisnye-kompanii-prekrasaut-investicii-v-rossii-cto-budet-s-dobycej-nefti> (дата обращения: 15.06.2022).
8. *Папков С.* Пропанты нового поколения для ГПП. Neftegaz.RU. 2015. <https://neftgaz.ru/science/drilling/331742-propanty-novogo-pokoleniya-dlya-grp/> (дата обращения: 15.06.2022).
9. «Жесткие меры». Европа согласовала 6-й пакет санкций против России. 2022. <https://www.gazeta.ru/business/2022/05/31/14927612.shtml> (дата обращения: 15.06.2022).
10. Metallurgicheskaya otрасль в России: крупнейшие производители стали. https://delprof.ru/upload/iblock/4ef/DelProf_Analitika_Metallurgicheskaya-otrasl.pdf (дата обращения: 15.06.2022).
11. О направлении стали на строительство из-за санкций // РБК. 3 июня 2022. <https://www.rbc.ru/business/03/06/2022/62972a299a79471b1c7b30fc> (дата обращения: 15.06.2022).
12. *Котченко К.* Экспорт стали в Китай: какие перспективы у металлургов из России // РБК. 05.04.2022. <https://quote.rbc.ru/news/article/624b02c69a7947fa3d43f9f9> (дата обращения: 15.06.2022).
13. *Афанасьев С. В., Садовников А. А., Гартман В. Л. и др.* Очистка природного газа от сернистых соединений // Neftegaz.RU. 2018. № 10.
14. *Садовская О. В., Синицкая А. В.* Радиоактивность каменных углей. Пути поступления радионуклидов в окружающую среду при сжигании углей на тепловых электростанциях // Науки о Земле. Вестник ИрГТУ. № 10 (57). 2011. С. 67-70.
15. *Рожков А. А., Бабич Е. А.* Переход цементной промышленности с газового топлива на уголь // Горная Промышленность. 2012. №2. С. 118-124.
16. *Волоткович Д. И., Туровский Л. Н.* Проблемы перевода цементных заводов с природного газа на уголь и альтернативные виды топлива // Архитектура и строительство. 2007. №9. С. 56-57.
17. *Ernst G., Leidinger B., Natusch K., Petzel H., Scholl G.* Kühlturm und Rauchgas-entschwefelungsanlage des Modelkraftwerkes Völklingen, 1986, VDI-Verlag, 366 p. [Градирия и установка

- очистки от серы дымовых газов модельной электростанции Вёлклинген].
18. *Кокоев М. Н., Федоров В. Т.* Альтернативная энергия при производстве теплоизоляционных материалов // Вестник Отделения строительных наук РААСН. 2020. Том 2. С. 100-105.
 19. *Малец В., Подлuzский Е.* Проблемы энергосбережения в производстве строительных материалов // Архитектура и строительство. №9. 2007. С. 52-54.
 20. *Астапович А. З., Григорьев Л. М.* Очерк социально-экономического анализа №1: «Великая депрессия и реформы Ф.Д. Рузвельта: уроки выхода из кризиса для наших дней», департамент мировой экономики НИУ ВШЭ декабрь 2020 года. URL: <https://wec.hse.ru/data/2020/12/02/1354736567>
 21. *Гринин Л. Е.* Великая депрессия 1929-1933 гг. // Философия и общество. 2009. №2. С. 184-201.
 21. Строительство дорог было начато президентом Франклином Рузвельтом. <https://www.ridus.ru/news/355389> (дата обращения: 15.06.2022).
 22. *Johnson M. H.* “Laying Foundations: New Deal Public Works and Aviation Infrastructure”. The Journal of Policy History. Vol. 30. №4. 2018. P. 696.
 23. [«Закладка фундамента: общественные работы и авиационная инфраструктура Нового курса»]
 24. *Hiltzik, Michael A.* Colossus: Hoover Dam and the Making of the American Century. New York: Free Press, 2010. P. 81-87. [Колосс: плотина Гувера и создание американского века.]

EXTENSIVE BUILDING OF HOUSING, ROADS AND BRIDGES AS A WAY TO MINIMIZE THE DAMAGE FROM SANCTIONS

© M. N. Kokoev

KBSU named after Kh. M. Berbekov, Nalchik, Russia

Since March 2022, sanctions have been imposed on the export of Russian oil and oil products, natural gas, coal and steel to the EU countries, the UK and the USA. It is possible to export Russian fossil fuels to China and the countries of Southeast Asia (SEA), but only with a discount of 30-40% because China and Southeast Asia are well aware of the limited capacity of Russian pipelines, railroads and sea routes to the east. In addition, the Russian Federation is experiencing strong competition in the energy commodities market from the countries of the Persian Gulf and Central Asia, seeking to increase the export of their oil and gas, and which have low transportation costs. China does not need Russian steel. It produces 58% of the total world steel output, and Russia only produces 4%. Russian steelmakers redirected part of their exports from Europe to Asia but were forced to offer discounts of up to 25%. Therefore, Russia needs to redirect its energy resources to domestic consumers to increase the production of steel, cement, brick, expanded clay and other energy-intensive building materials in order to expand housing construction, new concrete roads, bridges, runways and airports, design and construction of new enterprises producing machine tools, bearings, electrical equipment, electronic devices and so on.

Keywords: Sanctions, export of fossil fuels and steel, production of energy-intensive materials, housing and infrastructure construction.

REFERENCES

1. The export of fuel oil from Russian ports is declining. (2022). Available at: <https://www.argusmedia.com/ru/news/2316557-eksport-mazuta-iz-portov-rossii-sokrashchaetsia> (Accessed 15.06.2022).
2. Wind energy in Europe in 2019. Trends and statistics. (2020). Available at: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-ind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2019.pdf> (Accessed 15.06.2022).
3. The total capacity of wind farms in Russia has overcome the bar of 2 GW. Available at: <https://www.m.eprussia.ru/news/base/2021/8542486.htm> (Accessed 10 February 2022).
4. Rosatom State Corporation entered the wind energy market in 2016. Available at: <https://rosatom.ru/production/vetroenergetika/> (Accessed 10 February 2022).
5. Rosstat. Fuel oil export from Russia for December 2021. Available at: <https://www.oilexp.ru/oilstat/report/rosstat-ehksport-mazuta-iz-rossii-na-dekabr-2021/260596/> (Accessed 15.06.2022).
6. Aminev, S. Kh. (2021). "Light Fractions" for Tough Problems. *"Neftegaz.RU"*. 2021. №4.
7. Alex, Budris (2022). Oilfield service companies stop investing in Russia: what will happen to oil production. Available at: <https://www.forbes.ru/biznes/459711-nefteservisnye-kompanii-prekrasaut-investicii-v-rossii-cto-budet-s-dobycej-nefti> (accessed 15.06.2022).
8. Papkov, S. (2015). New generation proppants for hydraulic fracturing. *Neftegaz.RU*. Available at: <https://neftgaz.ru/science/drilling/331742-propanty-novogo-pokoleniya-dlya-grp/> (Accessed 15.06.2022).
9. "Tough measures." (2022). Europe agreed on the 6th package of sanctions against Russia. Available at: <https://www.gazeta.ru/business/2022/05/31/14927612.shtml> (Accessed 15.06.2022).
10. Metallurgical industry in Russia: the largest steel producers, Available at: https://delprof.ru/upload/iblock/4ef/DelProf_Analitika_Metallurgicheskaya-otrasl.pdf (Accessed 15.06.2022).
11. On the direction of steel for construction due to sanctions. Available at: <https://www.rbc.ru/business/03/06/2022/62972a299a79471b1c7b30fc> (Accessed 15.06.2022).
12. Kotchenko, K. Export of steel to China: what are the prospects for metallurgists from Russia. Available at: <https://quote.rbc.ru/news/article/624b02c69a7947fa3d43f9f9>. (Accessed 15.06.2022).

13. Afanasiev, S. V., Sadovnikov, A. A. and Gartman, V. L. (2018). Purification of natural gas from sulfur compounds. *Neftegaz.RU*. №10.
14. Sadovskaya, O. V. and Sinitskaya, A. V. (2011). 'Radioactivity of coals. Ways of entry of radionuclides into the environment during coal combustion at thermal power plants'. *Herald of IrSTU*, №10 (57), pp. 67-70.
15. Rozhkov, A. A. and Babich, E. A. (2012). 'Transition of the cement industry from gas fuel to coal'. *Mining Industry*. №2, p. 118-124.
16. Volotkovich, D. I. and Turovsky, L. N. (2007). 'Problems of conversion of cement plants from natural gas to coal and alternative fuels'. *Architecture and construction*. №9, pp. 56-57.
17. Ernst, G., Leidinger, B., Natusch, K., Petzel, H. and Scholl, G. (1986). *Kühlturm und Rauchgasentschwefelungs-anlage des Modelkraftwerkes Völklingen*, VDI-Verlag, 366 p.
18. Kokoev, M. N. and Fedorov, V. T. (2020). Alternative energy in the production of heat-insulating materials. *Bulletin of the Department of Building Sciences RAASN*. V. 2, pp. 100-105.
19. Malec, V. and Podluzsky, E. (2007). Problems of energy saving in production building materials. *Architecture and construction*. №9, pp. 52-54.
20. Astapovich, A. Z. and Grigorie, L.M. Socio-Economic Analysis Essay No. 1: "The Great Depression and F.D. Roosevelt: Lessons from the Crisis for Our Days", HSE Department of World Economy, December 2020. Available at: URL: <https://wec.hse.ru/data/2020/12/02/1354736567>
21. Grinin, L. E. (2009). The Great Depression 1929-1933'. *Philosophy and society*. №2, pp. 184-201.
22. Road construction was started by President Franklin Roosevelt. Available at: <https://www.ridus.ru/news/355389> (Accessed 15.06.2022).
23. Johnson, M. H. (2018). "Laying Foundations: New Deal Public Works and Aviation Infrastructure". *The Journal of Policy History*, Vol. 30, №4, p. 696.
24. Hiltzik, Michael A. (2010). *Colossus: Hoover Dam and the Making of the American Century*. Free Press, New York, p. 81-87.

РАЗРАБОТКА ПОЛИМОРФНОЙ ВЯЖУЩЕЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КАРБОНАТНОЙ ДОБАВКИ

© С-А. Ю. Муртазаев^{1,2}, М. Ш. Саламанова^{1,2}, Ю. И. Корянова³

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

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

³ДГТУ, Ростов-на-Дону, Россия

Получение незаменимого и востребованного на данный момент вяжущего материала – портландцемента, влечет за собой непоправимый урон окружающей природной среде, ведь не секрет, что высокотемпературный обжиг сырьевой смеси сопровождается выбросами огромного объема окиси углерода, потенциально опасной для всего живого щелочной реакционной цементной пыли, серы, тяжелых металлов, диоксинов и других вредных соединений. Поиск нового альтернативного вяжущего, менее энергоемкого и затратного, получаемого по более экологичной и производительной схеме производства, с меньшим потреблением исчерпаемого природного сырья, негативным влиянием на окружающую среду, является актуальной и важной задачей. В работе приводятся результаты по разработке многокомпонентной полиморфной вяжущей системы «портландцемент – карбонатная добавка – суперпластификатор», выявлено, что оптимальная степень наполнения вяжущей системы в дозировке 20% по массе способствует максимальному приросту прочности на протяжении всего исследуемого промежутка времени. Образование таких труднорастворимых минералов гидрокарбоалюмината кальция, гидрокарбоната кальция и таумасита содействовало приросту прочности.

Ключевые слова: карбонатная добавка, портландцемент, вяжущая система, суперпластификатор, порошок, микронаполнитель, бетонная смесь.

Формат цитирования: Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М. Ш., Корянова Ю. И. Разработка полиморфной вяжущей системы на основе карбонатной добавки // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIX, № 3 (33). С.96-103. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.24.24.010

В настоящее время вопросы развития низкоуглеродных технологий являются самыми бурно обсуждаемыми на многих научных площадках мирового уровня, и концептуально связанными с проблемами ресурсо- и энергосбережения в производстве строительных материалов, изделий и конструкций. Получение незаменимого и востребованного на данный момент вяжущего материала – портландцемента, влечет за собой непоправимый урон окружающей природной среде, ведь не секрет, что высокотемпературный обжиг сырьевой смеси сопровождается выбросами огромного объема окиси углерода, потенциально опасной для цивилизации щелочной реакционной цементной пыли, серы, тяжелых металлов, диоксинов и других вредных соединений [1-4]. Да в итоге получаем качественный и эффективный продукт, но какой ценой!

Все эти обозначенные проблемы в комплексе наталкивают ученых на поиск нового

альтернативного вяжущего, менее энергоемкого и затратного, получаемого по более экологичной и производительной схеме производства, с меньшим потреблением исчерпаемого природного сырья, негативным влиянием на окружающую среду [5, 6]. Но на данный момент достойной замены уникальному портландцементу еще не найдено, и строительство надежных и долговечных зданий и сооружений долгие годы не обойдется без него, поэтому необходимо применять всевозможные мероприятия для снижения доли клинкера в цементной системе. Введение в состав композиции механо- и механохимически активированных добавок различного происхождения, химических модификаторов, бинарных порошков, инновационных способов ультразвуковой обработки воды затворения и других технологических приемов позволят повысить технико-экономический эффект производства вяжущих

материалов [7-9, 11]. Существующий практический опыт применения карбонатной пыли можно охарактеризовать следующей моделью (рисунок 1).

В научно-техническом центре коллективного пользования «Современные строительные материалы и технологии» была проделана работа по разработке многокомпонентной полимерной вяжущей системы «портландцемент – карбонатная добавка – суперпластификатор». Карбонатная добавка позволит сократить долю затратного клинкера в цементной композиции, ведь известен факт, что кристаллы кальцита с характерной мелкозернистой структурой и стабильным химическим составом способны направленно улучшать физико-механические и эксплуатационные характеристики бетона. Следует отметить, что в Чеченской Республике широко распространены карбонатные породы, Ярыш Мардынский карьер известняка располагает природным сырьем более чем на 300 лет, но несмотря на это важно рационально и бережно использовать это ископаемое. Местные известняки чистые, не доломитизированные, являются ценным ресурсом для получения портландцементного клинкера и газосиликатной продукции в регионе. На всех стадиях производства продукции, начиная от процесса приготовления сырьевой массы, до обжига и окончательной обработки полуфабриката, образуются огромные объемы карбонатных отходов в виде грубодисперсных фракций, ультра- и нанодисперсных порошков [10, 12].

Проба карбонатной пыли, отобранная из аспирационной системы газосиликатного производства светло-серого окраса, обладает дисперсностью частичек в размерном диапазоне 0,005-0,1 мм, при воздействии атмосферной влаги наблюдается агрегация структурных компонентов, что свойственно реакционно активным веществам. Микроисследования на дифрактометре «ARLX'TRA», представленные в виде рентгенографических кривых (рисунок 2), подтвердили присутствие в составе смеси портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$, кварца SiO_2 , оксида кальция CaO , кальцита CaCO_3 и альбита $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$.

Первичная природа минералов карбонатных пород кварца, кальцита и альбита определяется узкими диагностическими линиями дифрактограммы. При соприкосновении карбонатных пород с топочными газами при температуре 900°C и выше происходит рекристаллизация оксида кальция, о чем свидетельствуют сужающиеся диагностические рефлексии дифрактограммы. Портландит выражен более широкими линиями, явно симметричными, что свойственно соединениям вторичной природы, характеризующим гидравлическую активность карбонатной пыли.

Полученные рентгенографические анализы указывают на положительные возможности карбонатной пыли, и химическая активность будет проявляться в вяжущей системе «портландцемент – карбонатная добавка – суперпластификатор» за счет образования таких проч-

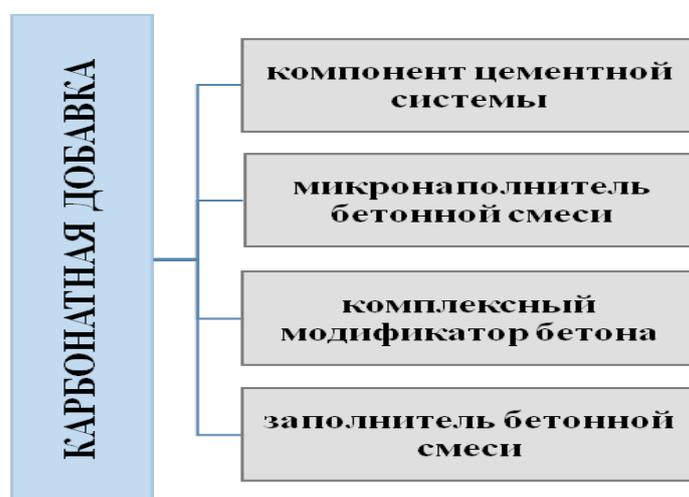


Рис. 1. Модель применения карбонатной пыли

Таблица 1. Рецептуры и свойства вяжущих материалов

| Вяжущее | Соотношение | НГЦТ, % | Сроки схватывания, начало/конец час-мин. | Активность, МПа |
|--------------------------------|-------------|---------|--|-----------------|
| ЦЕМ I 42,5 Н, АО «ЧЕЧЕНЦЕМЕНТ» | 100:0 | 25,5 | 2-15/ 3-40 | 52,2 |
| ПЦ: КД | 80:20 | 21,4 | 3-20/ 4-05 | 55,6 |
| ПЦ: КД | 70:30 | 22,2 | 3-25/ 4-00 | 49,0 |
| ПЦ: КД | 65:35 | 22,9 | 3-27/ 4-10 | 46,5 |

Примечание: ПЦ – портландцемент; КД – карбонатная добавка

исследовался качественный гранитно-диабазовый крупный заполнитель фракции 5-20 мм и кварцево-полевошпатовый песок с модулем крупности 2,8. В бетонную смесь вводили жидкий суперпластификатор SikaViscoCrete 5 New на основе поликарбоксилатных эфиров в дозировке 0,5% от массы портландцемента, для проявления пластифицирующего и водорегулирующего эффектов. Удобоукладываемость формовочной смеси контролировалась по осадке конуса и составляла примерно 10-15 см (марка П3). Исследования проводили в соответствии с ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам, результаты проведенных испытаний представлены в таблице 2.

Проведенные исследования подтвердили

эффективность полиморфной системы «портландцемент – карбонатная добавка 20% – суперпластификатор», получен показатель прочности на 22,8%, превышающий прочность контрольного образца, обоснованию служит комплексное действие дисперсного химически активного карбонатного порошка, суперпластификаторов Полипласт и SikaViscoCrete 5 New, минимальное водопоглощение, свидетельствующее о плотной и непроницаемой структуре массива камня. Микрофотографии, выполненные с помощью дисперсионно-энергетического спектрометра растрового электронного микроскопа Quanta 3D 200i, подтверждают присутствие дополнительного количества новообразований (рисунок 4). Прочность образцов соответствует классу бетона

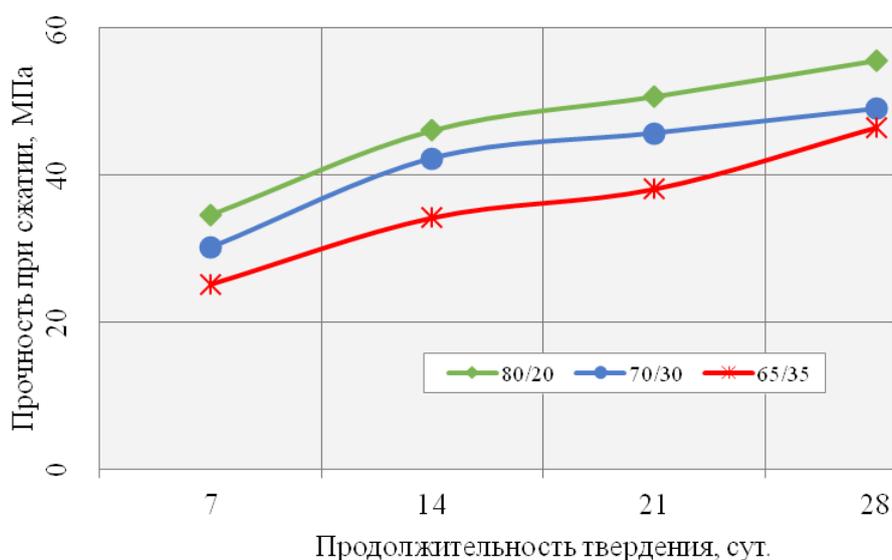


Рис. 3. График кинетики набора прочности образцов вяжущего «портландцемент – карбонатная добавка – суперпластификатор»

Таблица 2. Составы и физико-механические свойства бетонов на основе полиморфной системы

| № опыта | Расход материалов, кг/м ³ | | | | | Водопоглощение, % | Предел прочности при сжатии, МПа | Средняя плотность, кг/м ³ |
|---|--------------------------------------|-----|------|-----|-----|-------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| | Ц | П | Щ | В | Д | | | |
| ЦЕМ 142,5 Н –100% | | | | | | | | |
| 1 | 420 | 680 | 1000 | 210 | 2,1 | 10,2 | 39,8 | 2212 |
| «портландцемент – карбонатная добавка 20% – суперпластификатор» | | | | | | | | |
| 2 | 420 | 680 | 1000 | 176 | 1,7 | 5,7 | 51,6 | 2246 |
| «портландцемент – карбонатная добавка 30% – суперпластификатор» | | | | | | | | |
| 3 | 420 | 680 | 1000 | 190 | 1,5 | 6,7 | 42,4 | 2230 |
| «портландцемент – карбонатная добавка 35% – суперпластификатор» | | | | | | | | |
| 4 | 420 | 680 | 1000 | 196 | 1,3 | 7,9 | 38,6 | 2210 |

В40 и позволит применять этот состав бетона при строительстве ответственных конструктивных элементов зданий и сооружений.

Таким образом, необходимо отметить, что предлагаемые рецептуры многокомпонентной полиморфной вяжущей системы «портландцемент – карбонатная добавка – суперпластификатор» позволят сократить долю затратного клинкера в цементной композиции за счет утилизации карбонатных отходов,

тем самым решаются проблемы экологического и технического характера. Полученные вяжущие композиции способны направленно улучшать технологические, физико-механические и эксплуатационные характеристики бетонной смеси и бетона, достигать в итоге классы бетона В30–40, что актуально при возведении монолитных бетонных и железобетонных конструкций в условиях строительной площадки.

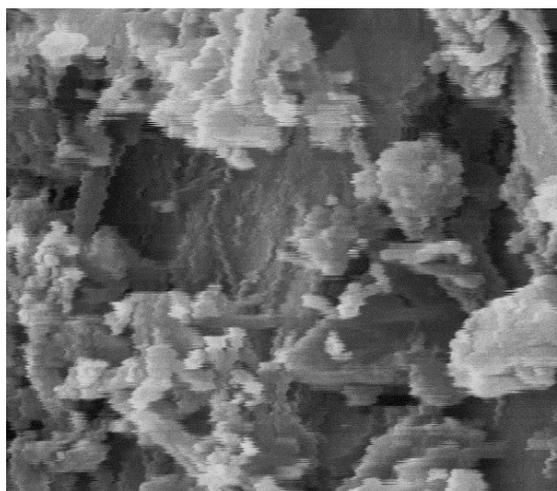
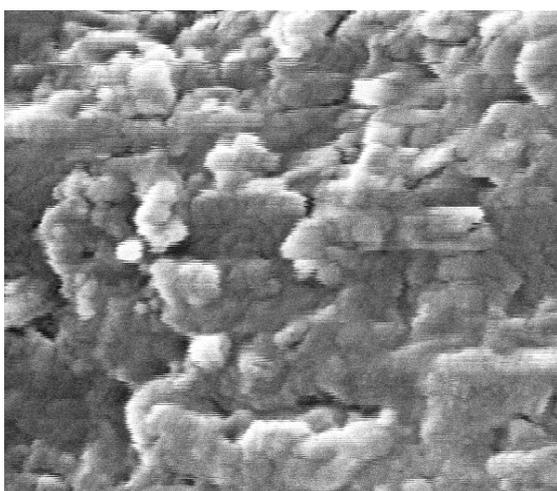


Рис. 4. Микрофотография цементного камня: а) без добавочного; б) с использованием карбонатной добавки 20%

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баженов Ю. М., Демьянова В. С., Калашиников В. И.* Модифицированные высококачественные бетоны // М.: АСВ, 2006. 289 с.
2. *Hillemeier B., Buchenau G., Herr, R., Huttel R., Klubendorf St., Schubert K.*: Spezialbetone Betonkalender, Ernst & Sohn. 2006. № 1. P. 534-549.
3. *Муртазаев С.-А. Ю., Саламанова М. Ш., Бисултанов Р. Г.* Влияние тонкодисперсных микронаполнителей из вулканического пепла на свойства бетонов // Сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова», 24-26 марта 2015 г., г. Грозный. Т. 1. С. 171-176.
4. *Муртазаев С.-А. Ю., Саламанова М. Ш., Сайдумов М. С., Гишлакаева М. И.* Использование в мелкозернистых бетонах отходов переработки горных пород // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Наука и образование в Чеченской Республике: состояние и перспективы», посвященной 10-тилетию со дня образования КНИИ РАН. Грозный, 2011. С. 181-184.
5. *Муртазаев С.-А. Ю., Саламанова М. Ш.* Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // Приволжский научный журнал. 2018. Т. 46. №2. С. 65-70.
6. *Каприелов С. С.* Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях. Ч. II // Строительные материалы. 2008. №3. С. 9-13.
7. *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.
8. *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.
9. *Khater A., and Gawwad H.* Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT. Advances in Nano Research, 2015. №3 (4), pp. 225-242.
10. *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.
11. *Fediuk, M. Mosaberpanah and Lesovik, V.* “Development of fiber reinforced self-compacting concrete (FRSCC): towards an efficient utilization of quaternary composite binders and fibers,” (Advances in concrete construction, 2020, 9 (4), pp. 387-395.
12. *Муртазаев С.-А. Ю., Хадисов В. Х., Саламанова М. Ш., Мовсулов М. М.* Перспективы использования отходов цементной промышленности // Современные проблемы в строительстве: постановка задач и пути их решения: сборник научных статей Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет, 2019. С. 258-265.

DEVELOPMENT OF A POLYMORPHOUS BINDING SYSTEM BASED ON A CARBONATE ADDITIVE

© S-A. Yu. Murtazaev^{1,2}, M. Sh. Salamanova^{1,2}, Yu. I. Koryanova³

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

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

³DSTU, Rostov-on-Don, Russia

Obtaining an indispensable and currently in demand binder – Portland cement, entails irreparable damage to the environment, it's no secret that high-temperature firing of the raw mixture is accompanied by emissions of a huge amount of carbon monoxide, potentially dangerous for all living alkaline reaction cement dust, sulfur, heavy metals, dioxins and other harmful compounds. The search for a new alternative binder, less energy-intensive and costly, obtained according to a more environmentally friendly and productive production scheme, with less consumption of exhaustible natural raw materials, and a negative impact on the environment, is an urgent and important task. The paper presents the results on the development of a multicomponent polymorphic binder system "Portland cement – carbonate additive – superplasticizer", it is revealed that the optimal degree of filling of the binder system at a dosage of 20% by weight contributes to the maximum increase in strength throughout the entire studied period of time. The formation of such sparingly soluble minerals calcium hydrocarboaluminate, calcium hydrogen carbonate and thaumasite contributed to the increase in strength.

Keywords: carbonate additive, Portland cement, binder system, superplasticizer, powder, microfiller, concrete mix

REFERENCES

1. Bazhenov, Yu.M., Demyanova, V. S. and Kalashnikov, V. I. (2006). Modified high-quality concrete. ASV. 289 p.
2. Hillemeier, B., Buchenau, G., Herr, R., Huttli, R., Klubendorf, St. and Schubert K. (2006). Spezialbetone Betonkalender, Ernst & Sohn. № 1. R. 534-549.
3. Murtazaev, S.A. Yu., Salamanova, M. Sh. and Bisultanov, R. G. 'The influence of fine microfillers from volcanic ash on the properties of concrete'. *Collection of articles of the international scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "GGNTU named after. acad. M.D. Millionshchikov"*, March 24-26, 2015, vol. 1, Grozny, pp. 171-176.
4. Murtazaev, S-A. Yu., Salamanova, M. Sh., Saidumov, M. S. and Gishlakaeva, M. I. (2011). 'Use of rock processing waste in fine-grained concrete'. *Materials of the All-Russian scientific and practical conference "Science and education in the Chechen Republic: state and prospects"*, dedicated to the 10th anniversary of the formation of the KNII RAS. Grozny, pp.181-184.
5. Murtazaev, S-A. Yu. and Salamanova, M. Sh. (2018). 'Prospects for the use of thermally activated raw materials of aluminosilicate nature'. *Volga Scientific Journal*. V. 46. №2, pp. 65-70.
6. Kapielov, S. S. (2008). Modified high-strength concrete of classes B80 and B90 in monolithic structures. Part II. *Construction materials*. №3. P. 9-13.
7. 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.

8. 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 (ISEES 2019)*. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1, pp. 500-503.
9. Khater, A., and Gawwad, H. (2015). 'Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT'. *Advances in Nano Research*. №3 (4), pp. 225-242.
10. Salamanova, M. Sh., Murtazaev, S-A. Yu., Alaskhanov, A. Kh. and Murtazaev, T. S-A. (2021). 'Prospects for using waste from the cement industry to produce modern concrete composites'. *Construction materials*. №5, p. 54-63.
11. Fediuk, M. Mosaberpanah and Lesovik, V. (2020). "Development of fiber reinforced self-compacting concrete (FRSCC): towards an efficient utilization of quaternary composite binders and fibers," *Advances in concrete construction*, №9 (4), pp. 387-395.
12. Murtazaev, S.-A. Yu., Khadisov, V. Kh., Salamanova, M. Sh. and Movsulov M.M. (2019). "Prospects for the use of waste from the cement industry". *In the collection: Modern problems in construction: setting problems and ways to solve them: collection of scientific articles of the International Scientific and Practical Conference, Southwestern State University*, pp. 258-265.

ВЕСТНИК ГГНТУ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

2023. Том XIX. № 3 (33)

Редактор – *Таймасханова З.Р.*
Корректор, дизайн и верстка – *Черная А.В.*
Технический секретарь – *Алаудинова А.И.*

Выход в свет 16.10.2023
Формат 60×⁸⁴/₈. Печать офсетная
Усл. печ. л. 12,0. Тираж 350 экз. Заказ № 104.

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.