



ISSN: 2686-7567

2023  
№1(31)

# ВЕСТНИК ГГТУ

Технические науки

| [info@gstou.ru](mailto:info@gstou.ru) | [www.gstou.ru](http://www.gstou.ru)



ISSN: 2686-7567

**ВЕСТНИК ГГНТУ**  
**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**HERALD OF GSTOU**  
**ENGINEERING SCIENCES**

SCIENTIFIC & TECHNICAL JOURNAL

**2023**

Том XIX

**№ 1 (31)**

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

д. т. н., профессор Минцаев Магомед Шавалович

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

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., М. С. Сайдумов (ГГНТУ)

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

### Строительство. Архитектура

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

### Химическая технология

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

### Информатика, вычислительная техника и управление

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

## EDITOR – IN-CHIEF

Magomed Mintsaeв, Doctor in Engineering

Associate Editor – Said-Alvi Murtazaev, Doctor  
in Engineering

Executive Secretary – Madina Salamanova, 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](mailto: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

**Дебиев М.В., Бадаев С.В., Амхаев Т.Ш.**

Мониторинг качества электроэнергии современными интеллектуальными устройствами .....5

**Пашаев М.Я., Дадаев А.И., Хашумов И.У., Занаева З.С.**

Аспекты конфиденциальности и безопасности технологии **5G** ..... 16

**Сивов В.В.**

Проектирование комплексной архитектуры бизнес-аналитики ..... 28

### ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Александрова Э.А., Хадисова Ж.Т., Александров Б.Л.**

Температуры фазовых превращений парафино-полимерных композиций ..... 40

**Вербицкий А.Ю., Хаджиди А.Е., Ариничева И.В.**

Исследование механических свойств эпоксидных соединений, подвергнутых воздействию кислой среды .....49

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

Валковая разливка - прокатка высокопрочных алюминиевых сплавов ..... 58

**Сидоров А.В., Ясьян Ю.П.**

Анализ технологии глубокой переработки темных нефтепродуктов для выбора объекта второго этапа модернизации ООО «АФИПСКИЙ НПЗ» .....67

### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

**Иванченко С.А., Развеева И.Ф., Оноре Г.С.**

Решение задачи классификации бетона методом k-ближайших соседей в условиях несбалансированности классов .....78

**Муртазаев С-А.Ю., Шеина С.Г., Муртазаев И. С-А., Межидов Д.А.**

Самоуплотняющиеся бетоны с использованием химических добавок на основе эфиров полиарилов и поликарбоксилатов ..... 88

**Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш.**

Возможности модификации вяжущих систем минеральными добавками .....96

ИНФОРМАЦИЯ ..... 103

## CONTENTS

### COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

<b>M.V. Debiev, S.V. Badaev, T.Sh. Amkhaev</b> Monitoring the quality of electric power by modern intelligent devices .....	5
<b>M.Ya. Pashaev, A.I. Dadaev, I.U. Khashumov, Z.S. Zanaeva</b> Privacy and security aspects of 5G technology .....	16
<b>V.V. Sivov</b> Designing complex architecture of business analysis .....	28

### CHEMICAL TECHNOLOGIES

<b>E.A. Alexandrova, Z.T. Khadisova, B.L. Alexandrov</b> Temperatures of phase transformations of paraffin-polymer compositions .....	40
<b>A.Yu. Verbitsky, A.E. Hadjidi, I.V. Arinicheva</b> Study of the mechanical properties of epoxy compounds sensitive acids in an acidic environment .....	49
<b>A.S. Nuradinov, N.S. Uzdieva, S.S.-S. Akhtaev</b> Roll casting-rolling of high-strength aluminum alloys .....	58
<b>A.V. Sidorov, Yu.P. Yasyan</b> Hydrocracking complex - the main facility of the first stage of afip refinery modernization .....	67

### CONSTRUCTION. ARCHITECTURE

<b>S.A. Ivanchenko, I.F. Razveeva, G.S. Onore</b> Solution of the problem of classification of concrete by the k-nearest neighbor method under unbalanced classes.....	78
<b>S.A. Yu.Murtazaev, S.G. Sheina, I. S-A. Murtazaev, D.A. Mezhidov</b> Self-compassing concrete using chemical additives based on polyaryl and polycarboxylate ethers ..	88
<b>S-A. Yu. Murtazaev, M.Sh. Salamanova</b> Possibilities of modifying binding systems with mineral additives.....	96
INFORMATION.....	103

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 621.31

DOI: 10.34708/GSTOU.2023.70.53.001

### МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОВРЕМЕННЫМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

© М. В. Дебиев<sup>1</sup>, С. В. Бадаев<sup>2</sup>, Т. Ш. Амхаев<sup>1</sup>

<sup>1,2</sup>ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

<sup>2</sup>АН ЧР, Грозный, Россия

В данной работе авторами рассматривается процедура применения первоначальных сведений для выявления потоков энергии основной гармоник и гармоник с различных участков с применением исследуемого в работе умного счетчика. Более того, целесообразным решением является и участие в алгоритме вышеуказанных гибких систем передачи сигналов переменным током – FACTS, с помощью которых появляется возможность дистанционного управления значениями реактивных составляющих электрической цепи. Для получения изначальных сведений в работе предлагается внедрение умного счетчика.

**Ключевые слова:** качество электрической энергии, изолированные системы электроснабжения, гармоники напряжения и тока, колебания, энергетические показатели.

**Формат цитирования:** Дебиев М. В., Бадаев С. В., Амхаев Т. Ш. Мониторинг качества электроэнергии современными интеллектуальными устройствами // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIV, № 1 (31). С. 5-15. DOI: 10.34708/GSTOU.2023.70.53.001

Одной из актуальных на сегодняшний день задач является влияние отдельных элементов на качество электроэнергии в энергосистеме. Мониторинг параметров электроэнергетических систем возможен с использованием регистраторов векторных параметров (PMU). Электроснабжение служит для обеспечения электроэнергией всех отраслей промышленности сельского и городского хозяйства, бытового потребления населения и т. д. При этом важной задачей является поддержание номинальных значений таких параметров, как частота, напряжение, сила тока и мощность. Если в недавнем прошлом электрическая энергия играла в бытовом потреблении минимальную роль (освещение домов, теле-радиоприемное оборудование, частично холодильное и гладильное оборудование), то современная жизнь просто немыслима без электрической энергии.

Освещение домов основывается на усовершенствованных технологиях. Электробытовые приборы переведены на электричество

(микроволновые печи и посудомоечные машины, чайники и подсветки, миксеры и блендеры, тестомешалки и соковыжималки, кофеварки и тостеры, пылесосы и водонагреватели, обогрев помещения и полов, кондиционеры, вентиляция и многое другое). Авторы работы предлагают применение распределенной системы мониторинга качества электрической энергии с использованием имеющейся инфраструктуры PMU, предоставляющей возможность производить измерения мгновенных значений токов и напряжений на разных участках электрической сети, с последующим их преобразованием в соответствующие формы и передачи в единый центр управления. Такая структура мониторинга позволяет вести постоянный контроль за уровнем гармонических составляющих в различных узлах энергосистемы. Предлагаемая методика расчета энергетических показателей, характеризующих различные элементы электрической цепи, с использованием современных микропроцессорных

электронных устройств лежит в основе системы «Умный дом» и служит как технология интеллектуального управления процессами жизнеобеспечения. Сбой в электроснабжении парализует существующую систему экономики как республики, так всей нашей необъятной страны в целом. Даже немыслима ситуация, которая произойдет при сбое электроснабжения в банковской системе.

Развитие электроэнергетики Чеченской Республики началось еще в XIX веке. В 1895 году в г. Грозном при нефтеперегонном заводе начала функционировать одна из первых на Северном Кавказе электростанция, построенная фирмой «Стюард Лимитед». При том же нефтеперегонном заводе в 1896 году построена вторая электростанция.

В портовом городе Новороссийске в 1893 году была построена первая в мире и в России электростанция трехфазного тока мощностью 1200 кВт. В 1896 году в г. Ростов-на-Дону была введена в работу электростанция на постоянном токе. В 1897 году в г. Ставрополе начала эксплуатироваться небольшая электростанция. В том же году для обеспечения электроэнергией первой в России грузовой канатной дороги в Алагирском ущелье бельгийцами была построена Садонская гидроэлектростанция (Садонская ГЭС). Вполне логично считать конец XIX столетия началом эры электроэнергетики Северного Кавказа.

Новый качественный прорыв в электроэнергетике Северного Кавказа произошел в начале XX века. Параллельно начали работать ГЭС «Белый Уголь» и тепловая электростанция (ТЭС) «Пятигорская». Тем самым была заложена основа будущей единой энергосистемы России.

На сегодняшний день электрические сети (ЛЭП, ПС, ТП и т.д.) подвержены физическому износу, а вместе с тем и некачественной эксплуатации. Наблюдается физический износ электрооборудования. В результате перегруженности ЛЭП, перенапряжения от ударов молнии и т.д. происходят обрывы ЛЭП и повреждения оборудования на трансформаторном пункте (ТП). Несвоевременно проводимые испытания электрооборудования на со-

ответствие изоляции, отбор и проверка масла на трансформаторных подстанциях (ПС) приводят к систематическому выходу из строя электрооборудования с отключением от электроэнергии потребителей.

В современных условиях необходимо еще и решать задачи, учитывающие наиболее углубленные факторы внедрением современных интеллектуальных устройств, представляющих возможности на основе элементов микропроцессорной техники как для изучения процессов, происходящих в электроэнергетических сетях, так и мониторинга различных электрических параметров. С помощью современных интеллектуальных устройств можно повысить коэффициент полезного действия электрооборудования, уменьшить потери и вести мониторинг качества электроэнергии [2, 6, 13].

Одним из главных факторов в системе электроснабжения является мониторинг изменения синусоиды напряжения. Возникающие гармоники в результате возмущений в электрической сети накладываются на основную синусоидальную форму напряжения, и они в свою очередь имеют свойство протекать по всей электрической цепи. Гармонические искажения могут вырабатываться электроприемниками, находящимися на большом расстоянии от центра электропитания [4, 10].

В целях повышения эффективности функционирования генерирующих мощностей и сетевой инфраструктуры целесообразно использование современных устройств на основе электронных элементов, например, таких как инверторы, реклоузеры, усилители сигналов, выпрямители, частотные преобразователи и т.д. Использование устройств на базе современных электронных элементов позволяет усовершенствовать, а вместе с тем и расширить возможность процесса функционирования и алгоритма режимов работы технологических установок, а также повысить значение высших гармоник напряжения и тока питающей электрической сети [7, 9, 14]. Более того, применение электростанций на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) повлекло за собой массовое использование электронных устройств, где в первую очередь невозможно обойтись без выпря-

мителей и инверторов. Применение ВИЭ главным образом влияет на системы электроснабжения, не связанные с централизованной энергосистемой. В соответствии с нормативными документами значения гармоник напряжения от источника питания отличаются эквивалентным коэффициентом гармоник напряжения, характеризующимся в процентном соотношении к значению напряжения основной гармоники [5, 8, 15].

При расчете энергетических параметров предполагается, что напряжение и ток могут быть несинусоидальными. Часть гармоник высших порядков при этом, спровоцированная за счет электроприемников с нелинейными элементами, способна принимать значение до 20% [1, 3, 16]. Из этого следует, что возникает задача по ведению контроля в распределении гармоник высших порядков в разных узлах электрической схемы, что позволит выработать сигналы для управления каналов регулирования частотой, к примеру активных и пассивных фильтров, реакторов и т.д. Высшие гармоники в электрической сети способствуют наличию мощности искажения, подобной характеристикам излишней реактивной мощности, негативно влияющей на электрическую цепь, а более того, нагружает сеть выс-

шими гармониками силы тока. Возникающие в результате нелинейных элементов в приемниках, гармоники тока представляют собой негативные явления в целом для электрической сети. Гармонические колебания формируют токи с частотами, кратными частоте основной электрической сети, характеризующие, в свою очередь, выработки в эту же сеть мощности искажения. Излишек суммарного действующего значения тока, полученного высшими гармониками в электрической сети, приводит к дополнительным потерям электроэнергии, нагреву различных звеньев электроэнергетической сети, ухудшению коэффициента полезного действия, снижению качества характеристик аппаратуры релейной защиты и автоматики, увеличению необходимой мощности электроприемников.

К одному из наиболее значимых параметров в электроэнергетической системе относится коэффициент мощности  $\cos\varphi$  [2], и в целях проведения расчетов одной гармоники для данного случая обозначим его через  $K_m$ , характеризующийся отношением активной мощности, потребляемой из сети (в данном случае определяется только первыми гармониками тока и напряжения), к полной мощности, и принимающий следующее выражение:

$$K_m = P_{(1)} / S = P_{(1)} S_{(1)} / S_{(1)} S = \cos\varphi K_n, \quad (1)$$

где  $P_{(1)}$  – активная мощность первой гармоники;  $S_{(1)}$  – полная мощность первой гармоники;  $S$  – полная мощность.

Вместе с тем, в данном выражении две величины  $\cos\varphi$  и  $K_n$ , являются, в свою очередь, коэффициентами сдвига и искажения. С учетом синусоидальной неискаженной формы напряжения эти две величины одновременно характеризуют сдвиг фазы  $\cos\varphi$  первой гармоники силы тока источника по отношению к напряжению, а также и коэффициент искажения формы силы тока источника  $K_n = I_{\Phi(1)} / I_{\Phi}$ ,

где  $I_{\Phi(1)}$  – действующее значение первой гармоники силы тока источника;

$I_{\Phi}$  – действующее значение полного тока источника.

На разных участках электрической сети первоначальными данными информации слу-

жат применяемые системы регистраторов векторных параметров (PMU), характеристики которых в последние годы сочетаются с новыми технологиями по ведению анализа за различными режимами функционирования энергетических систем [4, 11, 12].

В ходе внедрения рассматриваемого метода в узловых точках энергосистемы ведется мониторинг мгновенных значений соответствующих параметров, которые первоначально принимаются и обрабатываются датчиками. Через спутниковую связь параметры с датчиков в свою очередь поступают в основной пункт управления, откуда ведется наблюдение за общим режимом энергосистемы, а вместе с тем и мониторинг качества электрической энергии. Для измерения в реальном времени эквивалентных значений гармоник, а также



гармоник по отдельности, в центре управления энергосистемой требуется установить современный прибор в качестве интеллектуального счетчика [2, 18]. К данному прибору с разных участков энергосистемы стекают значения напряжений и токов, по завершении обработки которых в соответствии с заданным алгоритмом поступает сигнал на регулируемые устройства, для воздействия на систему посредством управляемых гибких систем передачи сигналов переменным током – *FACTS* (рис. 1).

Отслеживание за качеством электроэнергии обычно ограничивается оценкой значения гармоник высших порядков напряжения от источника питания. В данной работе отслеживание потоков энергии гармоник предусматривается на различных участках электрической схемы. Решение данного вопроса предлагается рассмотреть некоторыми предпосылками, наиболее значимым фактором из которых является существующая инфраструктура системы регистраторов векторных параметров (*PMU*), предоставляющая возможность производить измерения мгновенных значений токов и напряжений на разных участках электрической сети, с последующим их преобразованием в соответствующие формы и передачей в единый центр управления [8, 13].

Обычно такие сведения применяются для регистрации векторных параметров элек-

троэнергетической системы. Процедура применения первоначальных сведений для выявления потоков энергии основной гармоники и гармоник с различных участков с применением исследуемого умного счетчика рассматривается в работах [2, 18]. Целесообразным решением является и участие в алгоритме вышеуказанных гибких систем передачи сигналов переменным током – *FACTS*, с помощью которых появляется возможность дистанционного управления значениями реактивных составляющих электрической цепи.

Формирование алгоритма по регулированию величинами определенного ряда реактивных составляющих электрической цепи является одной из сложных задач, и поэтому предлагается использование метода простой интеграции. В ходе решения такой задачи предлагается периодическим изменением одного из параметров в малых интервалах провести мониторинг влияния на режим схемы. Проведение такого мониторинга возможно включением в схему регулируемого конденсатора. В ходе выполнения данной задачи целесообразно применение целевой функции, где приводится отношение мощности основной гармоники  $P_I$  к мощности гармоник  $P_{HH}$ , необходимые параметры которых формируются на выходе интеллектуального счетчика. Целевая функция (2) в такой задаче будет зависеть от следующих переменных:

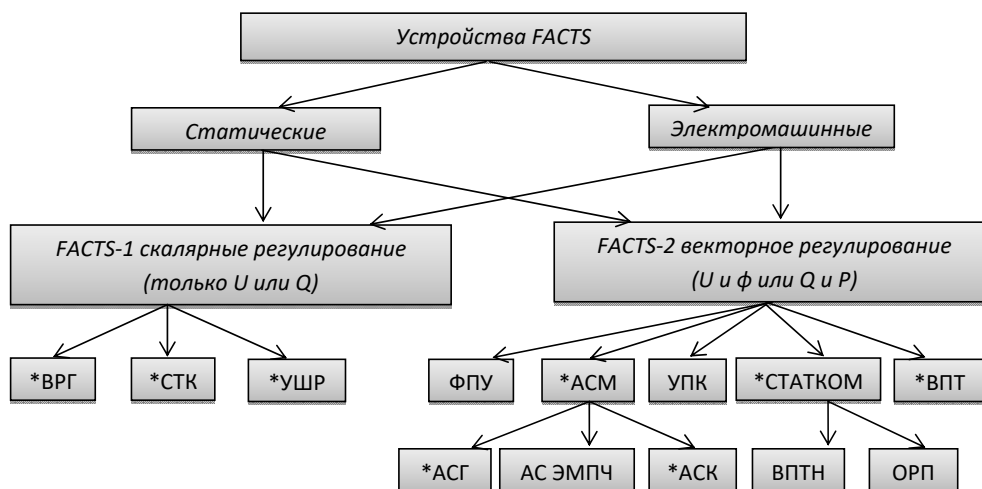


Рис. 1. Управляемые гибкие системы передачи сигналов переменным током – *FACTS*

$$\frac{P_1}{P_{\text{нн}}} = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_{1n}), \quad (2)$$

где  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  – значения реактивных составляющих, характеризующие частотные явления схемы.

Т.к. параметры  $x_1, x_2$  являются переменными, появляется возможность их регулирования с центра управления с помощью устройств телеизмерения. Параметры  $x_3, x_4$  и т.д. характеризуются квазипостоянными, иначе говоря, изменение их значений осуществляется в зависимости от скорости изменения режимов электрической схемы. Для наглядности приведем схему замещения характерной отдельной электрической цепи (рис. 2). Примем, что в ходе выполнения расчетов для напряжения определена лишь одна гармоника. Пусть это будет, к примеру, третья гармоника, вырабатываемая источником  $e_g$ , а параллельно и нелинейным элементом  $e_3$ . Также в схеме замещения участвуют две переменные реактивные составляющие, такие как индуктивность  $L_r$  и емкость  $C_r$ .

Для выбора автоматической настройки переменных величин с наибольшей точностью проведем некоторый анализ. Предположим, что требуется повысить качество электроэнергии в точке схемы (ab) электроприемника. Здесь  $L_g$  источника, характеризующую индуктивный элемент, распределенную емкость  $C_d$  и индуктивность  $L_d$ , а также индуктивную составляющую электроприемников  $L_{nc}$  и  $L_{lc}$  отне-

сем к параметрам с линейными характеристиками, а параметры регулируемой емкостной  $C_d$  и индуктивной  $L_r$  составляющих – с нелинейными [2, 17].

В данную модель подставляются первоначальные числовые значения постоянных ( $x_3, x_4$ ) и иных величин, а вместе с тем и минимальное значение уровня изменения переменных  $x_1, x_2$ . После того как будет определено первое значение переменной  $x_2$  в качестве изначального для заданного диапазона ( $x_{2l}$ ), подвергнем значение переменной  $x_1$  к нарастанию с постоянным интервалом  $\Delta x_1$  от наименьшей величины диапазона  $x_{1l}$  до наибольшей величины  $x_{1n}$ . В рассматриваемой процедуре  $n$  является эквивалентным числом сечений. Применяя основные законы электротехники, произведем расчет отношения мощности основной гармоники к мощности гармоник в узлах (ab) схемы для всех значений  $x_1$  (рис. 3). Полагаясь на величину  $x_{2l}$ , определяем величину  $x_{1max}$ , соответствующую наибольшему значению целевой функции (1). Результаты выполненных расчетов, значения  $x_{1max}, x_{2l}$ , а также значение целевой функции  $f_{max1}$  фиксируются в программу устройства, с последующим преобразованием переменной  $x_2$ , с интервалом  $\Delta x_2$ , где сформируется следующее выражение:

$$X_{21} + \Delta X_2 = X_{22},$$

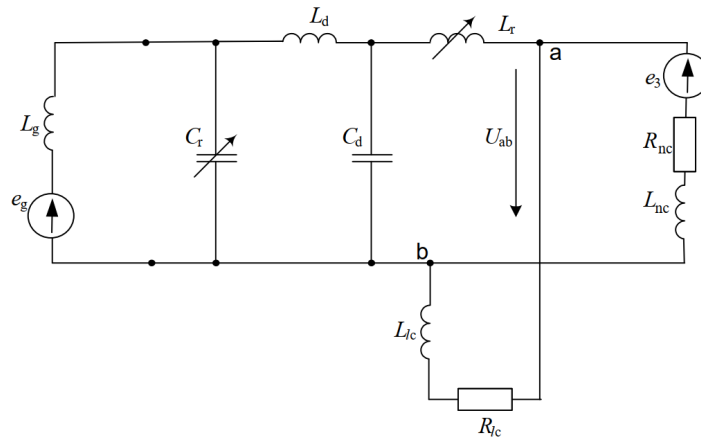


Рис. 2. Схема замещения отдельной электрической цепи

Процедура по изменению переменной  $x_1$  совпадает от начала и до конца интервала, а  $x_{1max}$  определяется при величине  $x_{22}$ . Таким же способом, как и в первом случае, находится  $f_{max2}$ , расчеты по которому проводятся до принятия верхней границы диапазона изменения переменной  $x_2$ . Иначе говоря, для определения значения  $f_{max n}$  в результате проведения расчетов требуется получить равенство  $x_2=x_{2n}$ .

На основе поступивших сведений устройство, в свою очередь, обрабатывает поступившую информацию соответствующих данных и приводит значения  $x_{1max}$ ,  $x_{2max}$ . По завершении обработки данной информации проводится анализ сопоставления рассчитанных элементов последовательности целевой функции  $f_{max1} - f_{max n}$ , с определением максимального их значения  $- F_{max}$ , которое, в свою очередь, примет наибольшее значение целевой функции (1) (рис. 3). Логическое устройство принимает параметры величин  $f_{max1} - f_{max n}$ , с последующим формированием выходного импульса для регулирования соответствующими звеньями прибора, и корректирующими в соответствии с заданным алгоритмом величины  $x_1$  и  $x_2$ .

В ходе выполнения рассматриваемой процедуры выявлены ориентировочные оптимальные значения переменных составляющих. В то же время, необходимо обратить внимание на то, что в проводимых расчетах принимались лишь некоторые факторы. В связи с чем, для полноценного результата необходимо учитывать факторы, относящиеся к гармоническим колебаниям высших по-

рядков, источникам гармонических составляющих и т. д.

В проводимом анализе изменение параметров реактивных составляющих выполняется включением в схему статических синхронных компенсаторов «СТАТКОМ», применение которых в широком интервале способствует регулированию значения выходного индуктивного или емкостного тока, не влияющего на значение напряжения сети синусоидального тока. Преимущественно над многими устройствами, в том числе и статическими тиристорными компенсаторами реактивной мощности (СТКРМ), компенсаторы «СТАТКОМ» преобладают некоторыми отличительными достоинствами:

- звено Subsystem\_1 выполняет функцию моделирования полигармонической кривой питающего напряжения, способствующую регулированию амплитуды и гармоник высших порядков в наибольшем диапазоне. Такая функция способствует улучшению возможности имитировать искажения основной гармоники напряжения от источника, схожей по конфигурации с фактическими потребителями (рис. 4 и 5);
- звено Subsystem\_2 выполняет функцию разложения полигармонического импульса в тригонометрический ряд, с последующим переводом в ряд Фурье и выполнением расчета энергетических показателей всех по отдельности гармоник;
- звено Subsystem\_3 выполняет функцию определения основной синусоиды. На та-

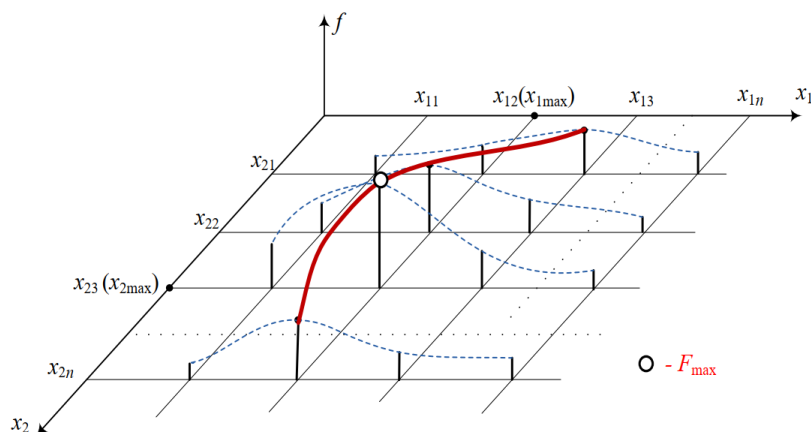


Рис. 3. Иллюстрация процедуры поиска максимума целевой функции

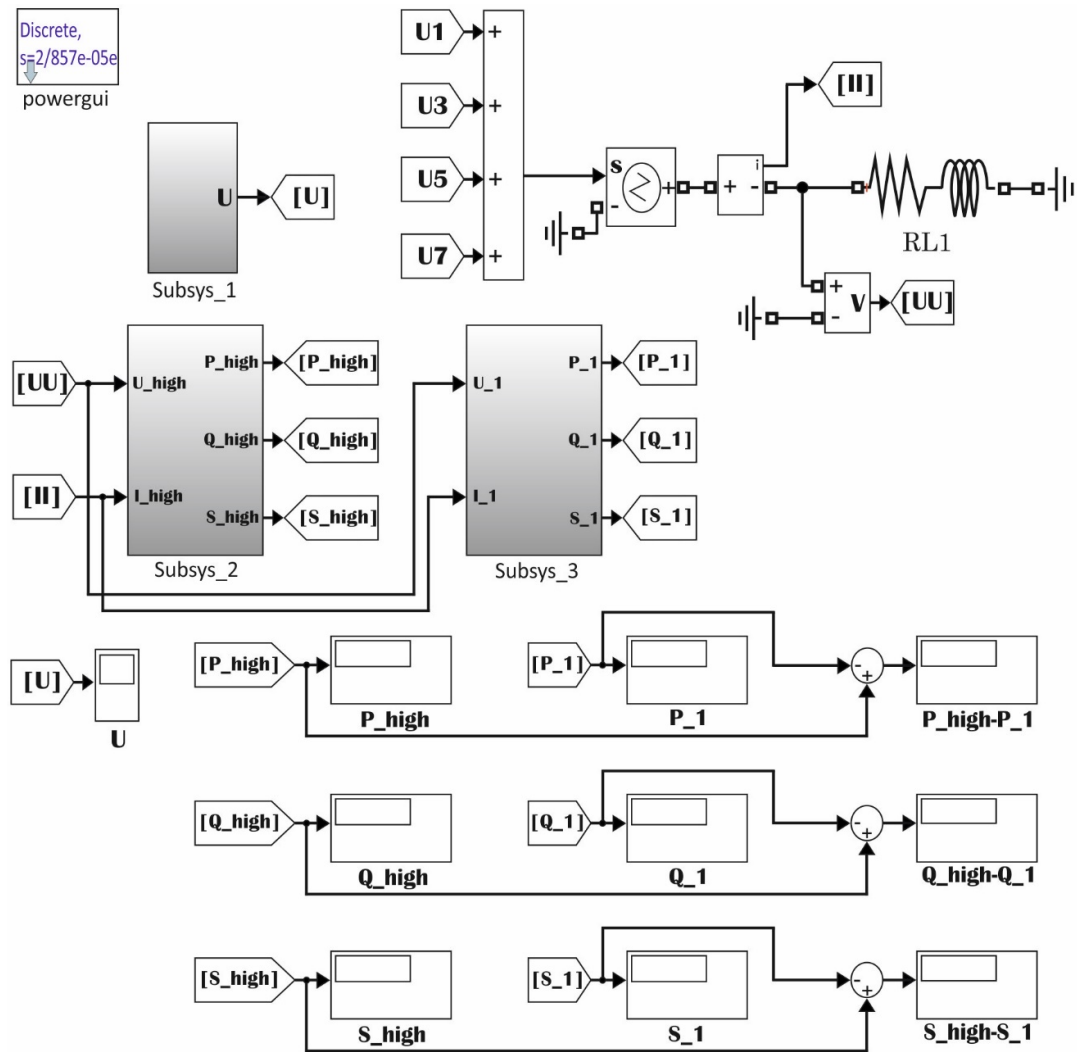


Рис. 4. Имитационная модель интеллектуального счетчика

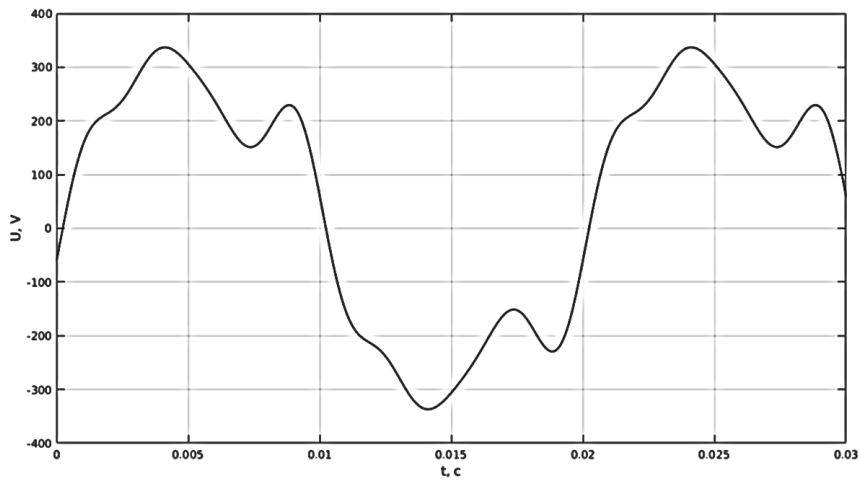


Рис. 5. Синусоида напряжения, близкая к синусоиде напряжений фактических электроприемников

бло прибора отображаются показатели расчетов и обработки данных, произведенных в рассматриваемых трех звеньях.

Для имитации несинусоидального напряжения в схеме были учтены нелинейные элементы в качестве бытовых электроприемников, а именно – СВЧ-печи [14].

Ниже представлена форма синусоиды напряжения, близкая к форме синусоид напряжений фактических электроприемников (рис. 5). В искажение формы синусоидального напряжения наибольшее влияние оказывают третья, пятая и седьмая гармоники, на которых заострили внимание авторы.

В таблице 1 приведены значения, поступающие в измеряемую мощность от отдельных гармонических колебаний, а вместе с тем и значения полной мощности гармонических колебаний.

В последнем столбце приводится процентное соотношение энергии основной гармоники и энергии гармонических колебаний высших порядков.

Проводимый метод оценивания гармоник осуществляется в настоящем времени, и поэтому режим вероятного наименьшего значения части высших гармонических колебаний в местах подключения постоянно балансируется.

Применение приведенной выше методики оценивания за качеством электрической энергии возможно и в разветвленных электрических схемах. Здесь требуется применение такого устройства, где будет возможность принимать ряд сигнальных входов, а также иметь несколько управляющих выходов. В качестве такого устройства можно использовать мульт-

типлексор, включение которого необходимо перед интеллектуальным счетчиком. Это повысит возможность оптимизировать частотные колебания в различных участках электрической цепи.

### Заключение

Рассмотрен метод использования гибких систем передачи сигналов переменным током, с помощью которых появляется возможность дистанционного управления значениями реактивных составляющих электрической цепи. Проведен анализ выбора автоматической настройки переменных величин с наибольшей точностью.

Установлено, что степень присутствия гармонических компонентов источника напряжения играет большую роль в эффективности потребления электроэнергии. Ввиду такого фактора требуется постоянное наблюдение за значениями гармонических колебаний на разных участках электрической цепи. Для внедрения рассматриваемой методики в работе предлагается применение распределенной системы по наблюдению за качеством электрической энергии.

Данный метод позволяет вести мониторинг за величиной и направлением гармоник источника питания с внедрением рассматриваемого в работе интеллектуального счетчика, как основного элемента в схеме. Имитационная модель такого счетчика, сформированная в среде *Matlab*, способствует измерению энергии полигармонического сигнала, т.е. измерению общего потенциала энергии,

Таблица 1

Состав гармоник

Мощности	Номер гармонической составляющей				$\sum_{i=1}^7 P_i, Q_i, S_i$	$\sum_{i=1}^7 P_i, Q_i, S_i$	%
	1	3	5	7			
<i>P</i> , Вт	4405,00	129,70	36,04	3,42	4574	169,20	3,83
<i>Q</i> , ВАр	1384,00	122,30	56,62	7,53	1590	186,40	13,44
<i>S</i> , ВА	4617,00	178,30	67,12	8,27	4871	253,70	5,49

а вместе с тем и энергии некоторых чисел способствуют определению наиболее точных гармонических колебаний с произвольными данными по каждой гармонике в схеме электроснабжения значениями амплитуд и фаз. Такие измерения троснабжения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Абдуллин Л. И.* Раннее выявление замыканий на землю по параметрам напряжения на приемных подстанциях // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2013. №11-12. С. 133-136.
2. *Дебиев М. В.* Эффекты внедрения автоматизированных электроэнергетических систем на основе интеллектуальных сетей / *М. В. Дебиев, Р. А-М. Магомадов, Т. Ш. Амхаев, Ш. З. Зиниев* // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2021. Том 17. №1 (23). С. 15-25. DOI: 10.34708/GSTOU.2021.38.87.002.
3. *Долгов А. И., Маршаков Д. В.* О применимости математического масштабирования и нормирования // Вестник Донского государственного технического университета. 2018. Т. 18. №1. С. 92-101.
4. *Жежеленко И. В.* Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. 6-е изд. М.: Энергоатомиздат, 2010. 375 с.
5. *Керимов И. А., Дебиев М. В.* Анализ факторов развития ветроэнергетики в Чеченской Республике // «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа». Материалы II Всероссийской научно-технической конференции, г. Грозный, 8-9 ноября 2012 г. Грозный: Академия наук Чеченской Республики, 2012. С. 499-508.
6. *Коверникова Л. И., Тульский В. Н., Шамонов Р. Г.* Качество электроэнергии в ЭЭС России: текущие проблемы и необходимые решения // Электроэнергия: Передача и распределение. 2016. №2 (35). С. 28-38.
7. *Новиков С. И., Кузьмин И. Л., Хузяшев Р. Г.* Простейшие алгоритмы обнаружения сигналов переходного процесса в линиях электропередачи // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. №7-8. С. 114-125.
8. *Суслов К. В.* Программа для расчета и управления уровнем гармонических составляющих в питающей электрической сети / *К. В. Суслов, Н. Н. Солонина, Ю. Д. Герасимов.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016613995. Дата гос. регистрации 12.12.2016.
9. *Тихомиров В. А.* Сравнительный анализ гармонического состава сетевого тока управляемых выпрямителей и преобразователей частоты / *В. А. Тихомиров, С. В. Хватов* // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2011. №3 (90). С. 204-214.
10. *Федотов А. И., Вагапов Г. В., Чернова Н. В.* Распределение токов и напряжений вдоль воздушных линий электропередачи напряжением 6-35 кВ на «резонансных» частотах при ОЗЗ // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. №5-6. С. 69-78.
11. *Федотов А. И.* Спектральный состав токов и напряжений воздушной распределительной электрической сети с изолированной нейтралью при однофазных замыканиях на землю и его использование для определения мест повреждения / *А. И. Федотов, В. Г. Макаров, Г. В. Вагапов и др.* // Известия вузов. Электромеханика. 2019. №2. С. 72-84.
12. *Хузяшев Р. Г.* Алгоритмы локализации сигналов тока и напряжения при однофазных замыканиях на землю в распределительных воздушных сетях / *Р. Г. Хузяшев, И. Л. Кузьмин, С. И. Новиков и др.* // Электротехника. 2015. №2. С. 41-44.
13. *Хузяшев Р. Г.* Исследование скорости распространения сигналов переходных процессов по воздушным линиям электропередачи / *Хузяшев Р. Г., Кузьмин И. Л., Новиков С. И. и др.* // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2017. №3. С. 24-31.
14. *Jaipradidtham C.* Energy conservation with TCSC controller of electric arc furnace for harmonic analysis in power quality disturbance using continuous wavelet transform / *C. Jaipradidtham* // 2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON). 2016. Pp. 2905-2908.
15. *Mudiraj A. N.* Improvement of Power Quality by mitigating harmonics in single-phase AC distribution // 2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT). 2016. Pp. 83-88.

16. *Rajasekhar A. N. V. V. and Babu M.N.* Harmonics reduction and power quality improvement by using DPFC/International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT). 2016. Pp. 1754-1758.
17. *Shashikumar K.* Automatic sequential reactive power compensation and harmonic suppression at loads using appliance clustering and power quality monitoring/K. Shashikumar, C. Venkateshaiah, K. S. Sim. // 2016 International Conference on Robotics, Automation and Sciences (ICORAS). 2016. Pp. 1-6.
18. *Suslov K. V.* A principle of power quality control in the intelligent distribution networks// International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies EDST. 2015. Pp. 131-137.

## MONITORING THE QUALITY OF ELECTRIC POWER BY MODERN INTELLIGENT DEVICES

© M. V. Debiev<sup>1</sup>, S. V. Badaev<sup>2</sup>, T. Sh. Amkhaev<sup>1</sup>

<sup>1,2</sup>*GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia*

<sup>2</sup>*AS of the Chechen Republic, Grozny, Russia*

In this paper, the authors consider the procedure for applying the initial information to identify the energy flows of the fundamental harmonic and harmonics from various sections using the smart meter studied in the work. Moreover, an expedient solution is the participation in the algorithm of the above flexible systems for the transmission of signals by alternating current – FACTS, with the help of which it becomes possible to remotely control the values of the reactive components of the electrical circuit. To obtain initial information, the paper proposes the introduction of a smart meter.

**Keywords:** quality of electrical energy, isolated power supply systems, voltage and current harmonics, distortion, fluctuations, energy indicators.

### REFERENCES

1. Abdullin, L. I. (2013). "Early detection of ground faults based on voltage parameters at receiving substations". *Izvestiya vuzov. Energy problems*. №11-12. Pp. 133-136.
2. Debiev, M. V., Magomadov, R. A-M., Amkhaev, T. Sh. and Ziniev, Sh.Z. (2021). 'Effects of introduction of automated electric power systems based on intelligent networks'. *Herald of GSTOU. Technical sciences. Grozny State Oil Technical University named after V.I. M. D. Millionshchikov*, Grozny. V. XVII. No. 1 (23). Pp. 15-25. DOI: 10.34708/GSTOU.2021.38.87.002.
3. Dolgov, A. I. and Marshakov, D. V. (2018). 'On the applicability of mathematical scaling and normalization' // *Bulletin of the Don State Technical University*. V. XVIII. № 1. Pp. 92-101.
4. Zhezhelenko, I. V. (2010.) Higher harmonics in power supply systems of industrial enterprises. 6-th ed., Energoatomizdat, Moscow, 375 p.
5. Kerimov I.A., Debiev M. V. (2012). 'Analysis of the factors of development of wind energy in the Chechen Republic'. "Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus" *Proceedings of the II All-Russian Scientific and Technical Conference*. November 8-9, 2012, Grozny: Academy of Sciences of the Chechen Republic, Grozny, pp. 499-508.
6. Kovernikova, L. I., Tulskey, V. N. and Shamonov, R. G. (2016). 'The quality of electricity in the UES of Russia: current problems and necessary solutions'. *Electricity: Transmission and distribution*. №2 (35). Pp. 28-38.
7. Novikov, S. I., Kuzmin, I. L. and Khuzyashev, R. G. (2017). 'The simplest algorithms for detecting transient signals in power lines.' *News of higher educational institutions. Energy problems*. №7-8. Pp. 114-125.

8. Suslov, K. V. Solonin, N. N. and Gerasimov, Yu. D. *Program for calculating and controlling the level of harmonic components in the power supply network*. Certificate of state registration of the computer program №2016613995. State date. registration 12.12.2016.
9. Tikhomirov, V. A. and Khvatov, S. V. (2011). 'Comparative analysis of the harmonic composition of the network current of controlled rectifiers and frequency converters'. *Proceedings of NNSTU im. R. E. Alekseev*. No. 3 (90). Nizhny Novgorod, pp. 204-214.
10. Fedotov A. I., Vagapov G. V. and Chernova N. V. (2017). 'Distribution of currents and voltages along overhead power lines with a voltage of 6-35 kV at "resonant" frequencies during SPZ'. *Izvestiya vuzov. Energy problems*. №5-6. Pp. 69-78.
11. Fedotov, A. I., Makarov, V. G., Vagapov, G. V., et al. (2019). Spectral composition of currents and voltages of an overhead power distribution network with an isolated neutral during single-phase earth faults and its use to determine fault locations, *Izvestiya. universities. Electromechanics*. №2. Pp. 72-84.
12. Khuzyashev, R. G., Kuzmin I. L., Novikov S. I., et al. (2015). 'Algorithms for locating current and voltage signals during single-phase earth faults in air distribution networks'. *Elektrotehnika*. №2. Pp. 41-44.
13. Khuzyashev, R. G., Kuzmin, I. L., Novikov, S. I., et al. (2017). Study of the rate of propagation of signals of transient processes along overhead power lines. *Electrotechnical and information complexes and systems*. №3. Pp. 24-31.
14. Jaipradidham, C. (2016). 'Energy conservation with TCSC controller of electric arc furnace for harmonic analysis in power quality disturbance using continuous wavelet transform'. *2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*. Pp. 2905-2908.
15. Mudiraj, A. N. (2016). 'Improvement of Power Quality by mitigating harmonics in single phase AC distribution'. *2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT)*. Pp. 83-88.
16. Rajasekhar, A. N. V. V. and Babu, M. N. (2016). 'Harmonics reduction and power quality improvement by using DPFC'. *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*. Pp. 1754-1758.
17. Shashikumar, K., Venkataseshiaiah C. and Sim, K. S. (2016). 'Automatic sequential reactive power compensation and harmonic suppression at loads using appliance clustering and power quality monitoring'. *2016 International Conference on Robotics, Automation and Sciences (ICORAS)*. Pp. 1-6.
18. Suslov, K. V., Solonina, N. N. and Stepanov, V. S. (2015). 'A principle of power quality control in the intelligent distribution networks'. *International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies EDST*. Pp. 131-137.



## АСПЕКТЫ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ 5G

© М. Я. Пашаев<sup>1</sup>, А. И. Дадаев<sup>2</sup>, И. У. Хашумов<sup>3</sup>, З. С. Занаева<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup> ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

<sup>2</sup> ПАО «ВымпелКом», Грозный, Россия

Мобильная сеть пятого поколения (5G) – это не только усилитель производительности существующих сетей мобильной связи, но и технология, обеспечивающая конвергенцию сетей связи с другим фундаментальным блоком цифровой эпохи – вычислениями. Технология 5G определяется сложной экосистемой, состоящей из разнородных заинтересованных сторон, технологий, методологий и передового опыта.

В данной статье описываются два основных аспекта технологии 5G, а именно конфиденциальность и безопасность. В центре внимания этого исследования находится анализ рисков и угроз кибербезопасности, проблем конфиденциальности и возможностей технологии 5G на примере стран Европейского союза, а также взаимосвязь между рисками кибербезопасности и вопросами конфиденциальности во всем мире, и в частности в Российской Федерации.

**Ключевые слова:** сеть радиодоступа (RAN), политики приватности (POP), политики безопасности (POS) сверхплотное развертывание, 5G.

**Формат цитирования:** Пашаев М. Я., Дадаев А. И., Хашумов И. У., Занаева З. С. Аспекты конфиденциальности и безопасности технологии 5G // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. ТОМ XIV, № 1 (31). С.16-27. DOI: 10.34708/GSTOU.2023.40.50.002

### Введение

Методологическая основа для оценки воздействия технологии 5G построена на трех столпах:

1) Основанный на документах анализ технических спецификаций и научной литературы, направленный на выявление рисков, проблем и возможностей, связанных с инновациями, внедренными с технологией 5G;

2) Параллельный анализ с участием заинтересованных сторон, состоящий из количественного анализа для сбора информации от широкого круга заинтересованных сторон и качественного анализа, основанного на отзывах группы экспертов;

3) Подборка соответствующих тематических исследований, иллюстрирующих выявленные риски, проблемы и возможности.

Потенциальное воздействие на неприкосновенность частной жизни граждан РФ, включая защиту личных данных, а также местонахождение, личность и групповую кон-

фиденциальность, оценивалось с помощью инструментов и методов взаимодействия с заинтересованными сторонами, таких как интервью, круглые столы и опросы, а также методологического подхода «анализ настроений».

Сложность экосистемы 5G, в которой постоянно появляются новые варианты использования технологии, также побудила авторов оценить перспективы использования новых технологий с поддержкой 5G, таких как интернет вещей, робототехника и искусственный интеллект.

### Ключевые аспекты безопасности сетей 5G

#### Трансграничный поток данных и 5G

Регламент (ЕС) 2016/679 расширил границы территориальной конфиденциальности Европейского Союза («ЕС»): соблюдение GDPR является обязательным как для юридических лиц, базирующихся в ЕС, так и для тех, кто находится за границей. Пункт 1 статьи 3 GDPR гласит, что он применяется к обработке персо-

нальных данных в контексте деятельности учреждения контроллера или обработчика в Союзе, независимо от того, происходит ли обработка в Союзе или нет. С другой стороны, GDPR накладывает ограничения на передачу персональных данных за пределы ЕС в третьи страны или международные организации, чтобы гарантировать, что уровень защиты физических лиц, обеспечиваемый GDPR, не будет подорван.

Евросоюз сильно повлиял на принятие других законов о конфиденциальности, подобных GDPR, за пределами Европейской экономической зоны (далее – ЕЭЗ), ограничив передачу персональных данных из государств-членов в страны без уровня защиты конфиденциальности, которые Европейская комиссия считает адекватными. Лишь несколько стран мира приняли уровень защиты персональных данных, эквивалентный тому, который гарантируется в ЕС [1].

В отсутствие «решения об адекватности» наиболее распространенными инструментами, которые компании используют для передачи данных за пределы ЕЭЗ, являются недавно обновленные Стандартные договорные условия (SCC) [4]. Новые SCC требуют, чтобы стороны выполнили и задокументировали оценку запланированной передачи данных.

Эта оценка, называемая «Оценка воздействия передачи» (ТИА), в основном представляет собой оценку рисков факторов, связанных с передачей данных в третьи страны, и она также должна включать анализ соответствующих законов в третьих странах для защиты данных.

Эта проблема имеет высокую вероятность возникновения, и она также влияет на политический аспект, особенно на суверенитет данных и отношения с третьими странами.

Варианты политики для рисков и проблем конфиденциальности:

POP1 – «Стороны экосистемы 5G создают контроллер/процессор в ЕЭЗ» – любая организация, участвующая в экосистеме 5G ЕС, должна создать контроллер или процессор в ЕЭЗ и поощрять свои собственные юридические отделы к выполнению ТИА.

POP2 – «Внедрение гибридного хранилища данных о местоположении» – возмож-

ный альтернативный путь может заключаться в принятии гибридного подхода, при котором личные или конфиденциальные данные хранятся локально, вблизи и в пределах национальных границ человека (пограничное облако) и менее конфиденциальные данные хранятся в облаке. Это предоставляет отдельным лицам (субъектам данных) больший доступ и контроль над своими данными, и они могут решать, где и с кем делиться ими.

POP3 – «Внедрение кошелька личных данных». Кошелек личных данных, представляющий собой цифровую область, в которой люди могут получать доступ к данным, давать согласие и получать уведомления, может рассматриваться как основной инструмент для осуществления прав на неприкосновенность частной жизни и защиту данных. Некоторые фрагментарные примеры и тематические исследования доступны в литературе [3], а также часть функций, доступных на государственных порталах (например, служба персональной цифровой идентификации). Однако комплексный и стандартизированный подход может ускорить путь к единому европейскому цифровому рынку. Особое внимание следует уделить удобству использования, доступности и процессам, которые должны быть реализованы, чтобы избежать опасений, связанных с цифровым разрывом, и гарантировать, что ни один гражданин не останется без внимания. Инновация означает переосмысление не только самих технологий, но и процессов их применения. Кошелек персональных данных предоставит отдельным лицам (субъектам данных) больший доступ и контроль над своими данными, а также возможность решать, где и с кем делиться ими.

### **Высокая скорость передачи данных**

Одно из ожиданий от мобильных сетей 5G заключается в том, что они будут характеризоваться высокой скоростью передачи данных и малой задержкой, что в конечном итоге приводит к огромному объему данных [5]. Можно утверждать, что другие технологии (например, Wi-Fi) обеспечивают возможность передачи больших объемов данных. Несмотря на это, они не гарантируют такие же сроки доставки

данных, как обещает технология 5G [6].

Риск, связанный со скоростью передачи данных, связан с концепцией больших данных. Риски больших данных обычно связаны с тремя атрибутами: объемом, скоростью и разнообразием обрабатываемых данных. Объем относится к количеству обработанных данных, разнообразие – к количеству и разнообразию типов данных, а скорость относится к скорости обработки данных [7].

Однако 5G вводит дополнение: быстрая передача связана с уровнем обмена данными между различными заинтересованными сторонами в экосистеме 5G.

Вероятность возникновения этой проблемы высока, учитывая, что многие подключенные устройства, включая носимые или находящиеся под кожей устройства (например, кардиостимуляторы), будут связаны с каждым человеком.

Если этот расширенный динамический и непрерывный процесс не будет согласован, быстрая передача и совместное использование данных могут повлиять на права на исправление и удаление данных, а также на гарантию обязательного уведомления об утечке данных, направленную на ограничение ущерба. Статья 33 GDPR направлена на сокращение утечек данных путем установления 72-часового крайнего срока для компаний, чтобы уведомить надзорный орган о том, где произошла утечка. При более высоких скоростях передачи данных 72-часовой срок для представления отчета в надзорный орган может быть слишком длинным, что влияет на права субъекта данных [8].

Варианты политики для рисков и проблем конфиденциальности:

ROP4 – «Пересмотреть крайний срок уведомления об утечке данных» – Европейскому законодателю придется рассмотреть возможность пересмотра в сторону понижения, основанного на более высоких скоростях и скорости передачи данных, предела времени для уведомления о нарушении.

ROP5 – «Установить непрерывное согласие» – поставщики технологий 5G должны будут внедрить расширенные процессы динамического и непрерывного согласия и уведом-

ления, чтобы обеспечить права отдельных лиц на исправление, удаление и уведомление.

ROP6 – «Внедрение самых современных механизмов защиты» – поставщики технологий 5G должны будут внедрить самые передовые системы шифрования, а также методы анонимизации или псевдоанонимизации, а также разработать системы высокоскоростного оповещения в случае утечки данных.

### **Высокая плотность трафика и точность определения местоположения**

В настоящее время широко используются сервисы на основе местоположения (LBS). Большинству онлайн-приложений на мобильных устройствах требуется информация о местоположении. Компании отслеживают текущее местоположение пользователя, чтобы предоставлять более качественные услуги. Поступая таким образом, они постоянно следят за привычками и распорядком дня пользователя [9]. Отслеживание людей через их смартфоны также было ключом к отслеживанию контактов в борьбе со вспышкой коронавирусной болезни 2019 года (COVID-19).

В технологии 5G будут использоваться антенны с технологией Multiple-In Multiple-Out (MIMO), обеспечивающие более плотную и более высокую пропускную способность, чем текущая технология 4G [10]. Поскольку будут приняты более высокие частоты, сети 5G будут иметь ячейки покрытия меньшего размера. Это позволит повысить точность локализации устройств и, следовательно, будет проще раскрыть информацию о местоположении субъекта данных [11]. По этой причине неудивительно, что один из наиболее важных бизнес-сценариев, использующих возможности 5G, основан на службе определения местоположения в реальном времени (RTLS), которая использует более длительный срок службы батареи устройства, точность информации о местоположении и стоимость терминала по сравнению с традиционными технологиями (например, Bluetooth и Wi-Fi).

В соответствии с Регламентом ePrivacy данные о местоположении являются «метадан-

ными». Важность такого рода данных особенно отмечена в проекте Регламента электронной конфиденциальности, где в пункте (1.2) подчеркивается, как «метаданные» позволяют делать точные выводы о частной жизни лиц, участвующих в электронном общении, таких как их социальные отношения, привычки и повседневная жизнь, деятельность, интересы и вкусы [12].

Более того, нерегулируемое раскрытие информации о местоположении имеет личные и социальные последствия, требующие конкретных решений для их смягчения [13]. По этой причине первый проект статьи «Регламента электронной конфиденциальности» предусматривал юридическую обработку метаданных сообщений только с согласия конечного пользователя, предоставленного для одной или нескольких указанных целей [12]. Однако последний вариант, по-видимому, допускает дальнейшую обработку метаданных для определенных, явных и законных целей [14].

### **Большое количество подключенных устройств (IoT)**

Меньшая задержка в технологии 5G означает больше подключенных устройств. По данным Глобальной системы мобильной связи (GSMA), количество соединений 5G вырастет с 500 миллионов в конце 2021 года до 1,8 миллиарда к 2025 году [15]. 5G будет иметь потенциально разрушительное воздействие в нескольких областях, в том числе варианты политики в отношении рисков и опасений, связанных с конфиденциальностью:

POP7 «Учитывать влияние 5G в окончательной версии предлагаемого регламента электронной конфиденциальности» – европейские политики должны будут учитывать влияние технологии 5G при утверждении окончательной версии предлагаемого регламента электронной конфиденциальности. Со стороны GDPR провайдеры 5G должны будут внедрить самые передовые системы шифрования, методы анонимизации или псевдонимизации или методы запутывания для снижения качества информации о местоположении, а также проводить оценку воздействия на защиту дан-

ных (DPIA), обязательный и ценный инструмент для выявления рисков, связанных с контролем и обработкой информации о местонахождении пользователей, и для смягчения крупномасштабных последствий такой обработки, среди прочего:

1) от беспилотных транспортных средств к интеллектуальным сетям для возобновляемых источников энергии, снижения заторов на дорогах, выбросов парниковых газов и дорожно-транспортного травматизма;

2) от умных городов и умных домов к сфере здравоохранения через беспроводную телехирургию (WTS) и беспроводные Сервисные роботы (WSR);

3) от промышленных роботов к фабрикам будущего для повышения эффективности использования энергии и ресурсов, сокращения отходов и снижения травматизма рабочих.

Несмотря на количество возможных областей применения, Интернет вещей (IoT) и связанные с ним технологии, которые могут быть применены к подключенным объектам, всегда связаны с одной и той же архитектурой: данные необходимо транспортировать, хранить, обрабатывать и делать доступными [16].

Варианты политики для рисков и проблем конфиденциальности:

POP8 – «Рассмотрите стандартную структуру проверки» – новое европейское законодательство должно будет учитывать влияние такого неуправляемого человеком количества подключенных устройств, а также то, как будет осуществляться сопоставление данных, корреляция и извлечение информации для профилирования и отслеживания пользователей через их устройства. Поставщики устройств и услуг должны применять принципы конфиденциальности, в основном минимизацию данных (обоснованный сбор в зависимости от цели). Однако необходимо учитывать стандартные структуры проверки, чтобы предоставить независимым третьим сторонам соответствующие инструменты для целей проверки.

POP9 – «Учитывать влияние более привлекательных устройств и услуг» – Европейскому законодателю придется учитывать влияние более привлекательных устройств и услуг, до-

ступных в секторе средств массовой информации и развлечений, а также тот факт, что большинство пользователей являются несовершеннолетними. Родительский контроль сам по себе не является эффективным решением, и необходимо учитывать этические принципы на этапе разработки услуг в соответствии с кодексом дизайна, соответствующим возрасту.

### Интернет-протокол (IP)

Технология мобильной связи 5G по-прежнему основана на IP [9]. Общеизвестно, что при определенных обстоятельствах как динамические, так и статические IP-адреса в качестве идентификаторов являются персональными данными. Когда устройству назначается статический IP-адрес, адрес не меняется; и наоборот, когда устройства используют динамические IP-адреса, они подключаются и со временем меняются. Динамические IP-адреса могут представлять собой «персональные данные», когда третья сторона (например, интернет-провайдер) владеет дополнительной

информацией (например, сведениями об учетной записи), которая может использоваться для привязки этих динамических IP-адресов к личности соответствующего лица.

Тем не менее, Европейский институт телекоммуникационных стандартов (ETSI) создал новую группу по не-IP-сетям, занимающуюся новыми услугами 5G. Эта группа ищет технологии-кандидаты, которые могут удовлетворить их потребности лучше, чем сеть на основе TCP/IP, используемая в существующих системах, преодолевая ограничения, существующие в 4G с точки зрения пропускной способности и задержки, и намеревается разработать стандарты, определяющие технологии, для более эффективного использования пропускной способности и меньшей задержки для живого мультимедиа.

POP10 – «Наблюдение за эволюцией не-IP-сетей» – новое европейское законодательство должно будет учитывать эволюцию и результаты работы рабочей группы ETSI по не-IP-сетям, касающимся новых услуг 5G.

Таблица 1 – Варианты политики для рисков и проблем конфиденциальности

Проблема конфиденциальности	Идентификатор политик	Описание варианта политики
Трансграничный поток данных и 5G	POP1	Стороны экосистемы обязуются 5G установить контроллер/процессор в ЕЭЗ
	POP2	Принять гибридное хранилище данных
	POP3	Принять хранилище личных данных
Высокая скорость передачи данных	POP4	Изменить крайний срок уведомления об утечке данных
	POP5	Установить постоянное согласие
	POP6	Внедрять самые современные механизмы защиты
Высокая плотность трафика и точность определения местоположения	POP7	Учитывать влияние 5G в окончательной версии предлагаемого регламента электронной конфиденциальности
Большое количество подключенных устройств (IoT)	POP8	Пересмотреть стандартные структуры проверки
	POP9	Учитывать влияние более доступных устройств и услуг
Интернет-протокол (IP)	POP10	Наблюдать за эволюцией не-IP-сетей

### Итог по пункту

Основываясь на доступных технических спецификациях и научной литературе, первый компонент оценки воздействия технологии 5G определяет пять основных рисков/проблем в отношении аспекта конфиденциальности. Это исследование предлагает десять вариантов политики для их смягчения и решения. В таблице ниже (табл. 1) приведены проанализированные проблемы конфиденциальности и связанные с ними варианты политики.

### Риски и проблемы безопасности

Технические отчеты [3], исследовательские работы [4, 5, 6] и институциональные отчеты [9, 10] показывают, как технология 5G значительно повышает конфиденциальность и безопасность беспроводных сетей за счет широкого внедрения механизмов защиты в спецификации 5G.

Эти усовершенствования в спецификациях безопасности все еще находятся в процессе пересмотра, и детали кодирования протокола будут доступны в стабильной версии 17, релиз которой прошел в июне 2022 года. Действительно, высокий уровень безопасности является одним из пяти столпов архитектуры 5G New Radio, наряду с новым радиочастотным спектром, массивными двунаправленными антеннами (MIMO), множественным подключением и гибкостью сети.

В этой связи при анализе рисков и проблем безопасности учитывается последняя версия технических спецификаций: TS 23.501 «Архитектура системы для системы 5G», выпущенная в июле 2021 г., TS 33.501 «Архитектура и процедуры безопасности для системы 5G», выпущенная в сентябре 2021 г. (V17.3.0) и интегрированная с научными публикациями. В этом документе используется STIX [17,18] (структурированное выражение информации об угрозах), язык и формат, используемые для обмена сведениями о киберугрозах (CTI), для формального моделирования и описания рисков безопасности в контексте технологии 5G. Использование STIX в последние годы растет, и его эволюция находится под контролем OASIS (некоммерческая организация по стандартизации).

### Сервисная архитектура 5G

Сервисная архитектура 5G (SBA) является эталонной моделью для экосистемы 5G и определяет четыре основных типа компонентов (рис. 1):

- Пользовательское оборудование (UE);
- Сеть радиодоступа (RAN);
- Ядро 5G (CN);
- Сеть передачи данных (DN).

Кроме того, два уровня (обозначены зеленым цветом на рис. 1) обеспечивают функции межсетевого взаимодействия (т. е. TN – транспорт) и функции управления (т. е. MANO –

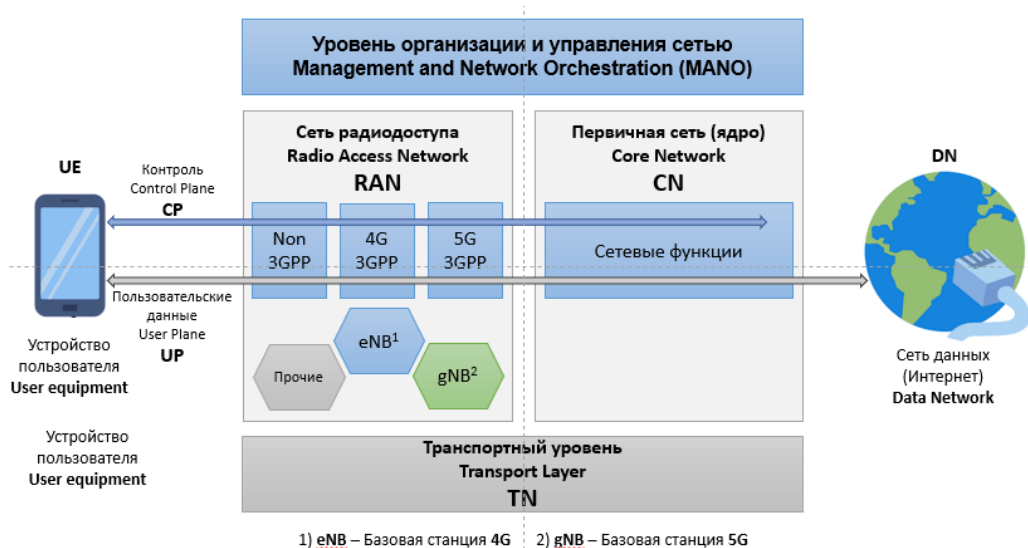


Рис. 1. Высокоуровневая архитектура сетей 5G

управление и организация сети) для всех четырех компонентов. Важно подчеркнуть, что эти два уровня включают компоненты, которые в настоящее время не относятся к спецификациям 3GPP.

Также с целью анализа рисков безопасности рассматриваются два основных канала связи, называемые плоскостями, а именно плоскость пользователя (UP) и плоскость управления (CP). Плоскость пользователя несет данные о пользователе/подключенном устройстве, в то время как плоскость управления (CP) обрабатывает трафик сигналов управления и соединяет любые компоненты в сетевой архитектуре 5G.

Сеть радиодоступа (RAN) представляет собой радиointерфейс, который обеспечивает беспроводную связь с устройствами и доступ к сети 5G через радиочастоты. RAN включает в себя базовые станции (называемые eNB в 4G и gNB в 5G) с антеннами и другими технологиями радиосвязи, а также оборудование для преобразования радиосигналов и цифровых сигналов. 5G RAN обеспечит доступ к оборудованию 5G, а также к существующим устройствам 4G и технологиям, отличным от 3GPP (например, Wi-Fi). Это дает возможность иметь стандартную беспроводную технологию для доступа к сети передачи данных (DN), но это вызывает новые проблемы.

Базовая сеть 5G (CN) обеспечивает все сетевые функции, такие как маршрутизация, аутентификация и управление политиками, для обеспечения связи внутри доступного UE и сети передачи данных (DN). Одним из наиболее важных нововведений в архитектуре 5G является полная виртуализация базовой сети, и такое программирование сетевых функций улучшит переносимость, масштабируемость и гибкость систем и услуг, но также вызовет новые проблемы.

В следующих подпунктах анализируются проблемы безопасности, связанные с технологией 5G.

### **Мультисвязность и плотность устройств**

Варианты политик для рисков и угроз безопасности:

POS1 – «Учитывать стандарты для сетевых компонентов» – необходимо учитывать стандартные правила и процедуры, чтобы уменьшить неоднозначность между сетевыми компонентами.

POS2 – «Учитывать обязательные меры безопасности» – меры безопасности не могут считаться необязательными в спецификации архитектуры, которая утверждает, что придерживается принципов безопасности, предусмотренных дизайном.

Программное обеспечение сети в технологии 5G позволит подключать мобильные устройства нового поколения (например, устройства 5G), а также обеспечивать подключение к устройствам как на основе 3GPP (например, устройства 4G), так и не на основе 3GPP (например, Wi-Fi). Эта способность называется мультисвязностью и представляет собой шаг к стандартной инфраструктуре беспроводной связи. Это актуальная инновация и один из пяти столпов 5G, и по этой причине ожидается, что 5G ускорит развертывание устройств IoT и обеспечит режим «все подключено», в котором возможны новые, более интеллектуальные сценарии (например, фабрики) будущего и подключенных роботов, автомобилей и транспортных средств ко всему, электронного здравоохранения.

Механизмы безопасности были значительно улучшены и усилены с помощью более надежных алгоритмов шифрования и протоколов аутентификации, но мультиподключение может скрывать более широкий набор новых потенциальных рисков, возникающих из-за взаимодействия с устаревшими системами, которые не реализуют последние рекомендации по безопасности. В этом смысле, даже если механизмы защиты (например, прокси-серверы и компоненты граничных вычислений с множественным доступом) существуют, устаревшие системы и устройства, не подключенные к 3GPP, могут представлять собой лазейки для потенциальных атак.

Кроме того, виртуализация и огромное количество подключенных устройств могут представлять проблему, если они будут использованы в кампаниях угроз, которые мо-

шенническим образом клонируют виртуальные узлы (цифровые двойники) сети и направляют трафик данных (как для прослушивания, так и для глушения). Для потенциальных угроз безопасности разрабатываются варианты политик для рисков и вызовов безопасности:

POS3 – «Контролировать эволюцию множественных подключений» – Поставщики услуг должны отслеживать эволюцию сетей множественного доступа и связанных с ними механизмов защиты и часто сообщать о них, чтобы оценивать тенденции атак и эффективность защиты.

### Протоколы и совместимость

Программное обеспечение сети расширит использование протокола на основе IP в 5G. Этот протокол был разработан более 40 лет назад для подключения по всему миру, а 20 лет назад его реализация была пересмотрена, чтобы обеспечить большее количество адресуемых и подключенных устройств. IP всегда основывался на пакетах данных с минимальным набором данных для передачи (например, заголовок пакета данных) и неэффективен для устройств IoT, которые выполняют частую и короткую передачу данных. По этой причине для этих устройств были определены специализированные протоколы, например, ZigBee и LoRaWan.

В марте 2020 года ETSI запустила новую рабочую группу по не-IP-сетям, занимающуюся новыми услугами 5G [2], чтобы решить проблемы этой новой цифровой эпохи, когда все взаимосвязано, улучшая производительность с точки зрения пропускной способности, задержки, совместимости и безопасности. В настоящее время анализируются новые протоколы для замены протоколов на основе IP, и эта задача станет еще одной важной революцией в сетях связи.

Более того, необходимость пересмотра протоколов должна учитывать перспективу функциональной совместимости, что является еще одной актуальной проблемой, которая может снизить эффективность 5G и поставить под угрозу ее безопасность. Даже если 3GPP определяет стандартные интерфейсы, протоколы и сообщения между пользовательским

оборудованием, сетью радиодоступа и основными компонентами, пробелы все еще необходимо устранять, поскольку 5G будет поддерживать сценарии использования из разных доменов (например, от автомобилей до здравоохранения).

Действительно, текущие спецификации и усилия по стандартизации сосредоточены на нижних уровнях модели взаимодействия открытых систем (OSI), которые обычно не зависят от предметной области, и, в частности, от физического (определение компонентов, обеспечивающих функции связи) до уровня сеанса (определение того, как взаимодействуют интерфейсы компонентов). Спецификации межкоммуникационного взаимодействия все еще не охватывают более высокие уровни модели OSI (т.е. уровни представления и приложения), где должны быть определены синтаксис данных, семантика и механизмы относительной безопасности.

Варианты политик для рисков и угроз безопасности:

POS4 – «Облегчение совместной работы с новыми протоколами». Необходимо предпринять совместные усилия всех заинтересованных сторон, чтобы внести свой вклад в новые протоколы, которые изменят правила игры в кибербезопасности.

POS5 – «Содействовать решению проблем функциональной совместимости в новых протоколах и правилах. Регуляторные органы и организации по стандартизации должны учитывать возможность взаимодействия между различными приложениями в рамках действующих спецификаций, стандартов и правил.

Спецификации и правила могут вызвать несоответствие между приложениями в разных доменах и, следовательно, проблемы совместимости. Эти проблемы, если их не решить должным образом, могут подорвать технологию 5G, поскольку:

- приложения из разных доменов могут не взаимодействовать (например, реализация проприетарных протоколов);

- неоднозначные смежные соединения могут быть интерпретированы как аномальные и, следовательно, отклонены;



– сеть 5G в целом может оказаться под угрозой со стороны узлов злоумышленников, использующих неоднозначность протокола и отсутствие у них функциональной совместимости.

В некоторых случаях проблемы безопасности могут также повлиять на конфиденциальность и безопасность людей. В этой связи функциональную совместимость следует рассматривать в рамках новых правил, которые все еще находятся в стадии разработки, таких как регулирование электронной конфиденциальности или регулирование автомобильной кибербезопасности.

### Идентификаторы и шифрование

Как упоминалось выше, в соответствии с текущими спецификациями шифрование данных обеспечивается между gNB (базовыми станциями 5G) и пользовательским оборудованием (UE), в то время как отдельные операторы могут реализовать его в остальной части SBA. Из-за ограничений по пропускной способности и задержки шифрование может быть барьером во многих критичных по времени сценариях (например, в автомобилестроении, удаленной хирургии), и по этой причине многие функции могут не реализо-

вывать механизмы шифрования. В этой связи RAN и Core являются критически важными компонентами сетей SBA 5G, и в результате этого gNB могут иметь полный доступ ко всем данным на устройства и с устройств в виде открытого текста. Тем не менее, исследования улучшенных механизмов шифрования продвигаются вперед с новыми эффективными и действенными решениями. Поточковый шифр, обеспечивающий 256-битную безопасность, который, благодаря его улучшениям с точки зрения пропускной способности и задержки, обещает быть реализованным в качестве примитива шифрования в 5G, а также в облегченных архитектурах.

Кроме того, в 5G были внесены соответствующие улучшения в отношении механизмов защиты от перехвата идентификаторов, то есть возможности перехвата идентификаторов путем прослушивания.

В мобильной сети 4G используется один постоянный идентификатор (называемый IMSI – международный идентификатор мобильного абонента), и этот идентификатор передается в виде открытого текста.

Варианты политик для рисков и угроз безопасности:

POS6 – «Внедрение полной анонимизации

Таблица 2 – Проблемы безопасности и предлагаемые решения

Риск/проблема безопасности	Идентификатор политик	Описание варианта политики
Программное обеспечение и гибкость сети	POS1	Учитывать стандарты для сетевых компонентов
	POS2	Рассмотреть меры безопасности
Мультисвязность и плотность устройств	POS3	Отслеживать эволюцию множественного подключения
Протоколы и совместимость	POS4	Содействовать сотрудничеству для внесения вклада в новые протоколы
	POS5	Содействовать решению проблем функциональной совместимости в новых протоколах и правилах
Идентификаторы и шифрование	POS6	Принять полную анонимность сквозной идентификации абонента
	POS7	Обеспечить совместимость по новым и стандартным алгоритмам шифрования
Новые заинтересованные стороны	POS8	Четко определить роли заинтересованных сторон

сквозной идентификации абонента». Заинтересованные стороны должны прилагать совместные усилия для обеспечения полной анонимности сквозной идентификации абонентов (т.е. от мобильного оборудования до опорной сети).

POS7 – «Конвергенция к новым и стандартным алгоритмам шифрования». Заинтересованные стороны должны предпринять совместные усилия для конвергенции с новыми алгоритмами шифрования, которые должны быть стандартизированы для более широкого внедрения «всего, что связано».

### Вывод по пункту

На основании имеющихся технических характеристик и научной литературы оценку воздействия технологии 5G определяет пять основных проблем, связанных с аспектом безопасности. Это исследование предлагает восемь вариантов политики для их смягчения и решения. Ниже (табл. 4) приведены проанализированные проблемы безопасности и связанные с ними предлагаемые варианты политики.

### Заключение

Внедрение любой технологии может иметь соответствующие положительные последствия для общества, если оно правильно спроектировано, реализовано и используется.

Практически все отрасли экономики – от традиционных металлургии и сельского хозяйства до робототехники – получают выгоду от более широкого внедрения и развертывания 5G и ИИ. Ожидается, например, что робо-

техника будет внедряться массово во многих секторах. Упомянем лишь некоторые примеры:

1) расширение своих производственных мощностей (например, производство и его сценарии «фабрики будущего»);

2) снижение вредности рабочей деятельности и повышение безопасности рабочей среды (например, промышленные роботы);

3) заменить людей-операторов в опасных задачах (например, уход за инфицированными пациентами).

Однако даже если есть много хороших предложений по использованию ИИ, 5G и робототехники (например, роботы для сбора анализов инфекционных зараженных, снижение перекрестного заражения и рисков для санитарных операторов), всегда есть тематические исследования, в которых освещаются этические и юридические проблемы, такие как автономные роботы, осуществляющие наблюдение в городских районах для выявления потенциального «плохого поведения».

Эти примеры могут повлиять на общественное мнение о прорывных технологиях, исказить представление о преимуществах, рисках и возможностях, а также вызвать чувство недоверия, что, в свою очередь, повысит барьеры на пути принятия и более широкого внедрения технологий.

По этой причине анализ воздействия был дополнен второй ветвью с участием заинтересованных сторон, таких как граждане, для анализа их интересов, а также экспертов для сбора их отзывов о 5G и его последствиях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. International Telecommunication Union, “Measuring digital development Facts and figures,” 2020. [Дата обращения: 29.10.22]. Режим доступа: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/FactsFigures2020.pdf>.
2. Garcia N. and et al., “Distributed real-time SlowDoS attacks detection over encrypted traffic using Artificial Intelligence,” 2021. [Дата обращения: 27.10.22]. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804520303362>
3. European Commission, “Proposal for an ePrivacy Regulation,” 2021. [Дата обращения: 27.10.22]. Режим доступа: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/eprivacy-regulation>
4. European Commission, “Commission Implementing Decision (EU) 2021/914 on standard contractual clauses for the transfer of personal data to third countries pursuant to Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council,” 2021. [Дата обращения: 22.10.22]. Режим доступа: [http://data.europa.eu/eli/dec\\_impl/2021/914/oj](http://data.europa.eu/eli/dec_impl/2021/914/oj)
5. Liyanage, M. Salo, J. Braeken, A., Kumar, T. and Sen, S. “5G privacy: Scenarios and solutions,”

2018. [Дата обращения: 27.10.22]. Режим доступа: <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfi-fe2019081524261.pdf>.
6. *Neumuth, T. Bulitta, C. and Hamm, S.* “5G Health – The need for 5G technologies in healthcare,” 2020. [Дата обращения: 27.10.22]. Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/3453>
  7. Publications Office EU, “Handbook on European Data Protection Law, 2018 Edition,” 2018. [Дата обращения: 27.10.22]. Режим доступа: [https://www.key4biz.it/wp-content/uploads/2018/06/fra-coe-edps-2018-handbook-data-protection\\_en.pdf](https://www.key4biz.it/wp-content/uploads/2018/06/fra-coe-edps-2018-handbook-data-protection_en.pdf)
  8. *Rizou, S., Alexandropoulou-Egyptiadou, E. and Psannis, K. E.* “GDPR interference with next generation 5G and IoT networks,” 2020. [Дата обращения: 27.10.22].
  9. *Liyanage, M. Ahmad, I. and Abro, A.* “A Comprehensive Guide to 5G Security,” 2018. [Дата обращения: 27.10.22].
  10. *Goudos, S. Deruyck, M. Plets, D., Martens, L., Psannis, K. E., Sarigiannidis, P. and Joseph, W.* “A novel design approach for 5G massive MIMO and NB-IoT green networks using a hybrid Jaya- differential evolution algorithm,” 2019. [Дата обращения: 27.10.22].
  11. *Farhang, S., Hayel Y. and Zhu, Q.* “PHY-layer location privacy preserving access point selection mechanism in next-generation wireless networks,” 2015. [Дата обращения: 27.10.22].
  12. European Commission, “EU Regulation concerning the respect for private life and the protection of personal data in electronic communications,” 2017. [Дата обращения: 27.10.22]. Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52017PC0010>.
  13. *Gupta, R. and Rao, U.* ‘An Exploration to Location Based Service and Its Privacy Preserving Techniques: A Survey’, 2017. [Дата обращения: 27.10.22].
  14. Т. С. о. Е. Union, “Mandate for negotiations with EP – Regulation concerning the respect for private life and the protection of personal data in electronic communications,” 2021. [Дата обращения: 29.10.22]. Режим доступа: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-6087-2021-INIT/en/pdf>.
  15. GSMA, “The Mobile Economy 2021 Report,” 2021. [Дата обращения: 23.10.22]. Режим доступа: <https://www.gsma.com/mobileeconomy/>.
  16. *Dorsemaine, B., Gaulier, J., Wary, J., Kheir, N. and Urien, P.* “Internet of Things: A Definition & Taxonomy,” 9 th International Conference on Next Generation Mobile Applications; Services and Technologies, pp. 72-77, 2015.
  17. *Delacroix, S. and Lawrence, N. D.* “Bottom-up data Trusts: disturbing the ‘one size fits all’ approach to data governance,” International Data Privacy Law, vol. 9, no. Issue 4, November 2019.
  18. *Пашаев М.Я., Абдулаева С.И., Намаева М.М., Халиева Х.С.* Анализ проблем безопасности больших данных в ИОТ и методов их преодоления // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2022. Т. 18. №4 (30). С. 24-30.

## PRIVACY AND SECURITY ASPECTS OF 5G TECHNOLOGY

© М.Ya. Pashaev<sup>1</sup>, A.I. Dadaev<sup>2</sup>, I.U. Khashumov<sup>3</sup>, Z.S. Zanaeva<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup> *GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia*

<sup>2</sup> *RJSC VimpelCom, Grozny, Russia*

The fifth generation (5G) mobile network is not only a performance booster for existing mobile networks, but also a technology that enables communication networks to converge with another fundamental building block of the digital age: computing. 5G technology is defined by a complex ecosystem of diverse stakeholders, technologies, methodologies and best practices.

This article describes the two main aspects of 5G technology, namely privacy and security. This study focuses on the analysis of cybersecurity risks and threats, privacy issues and opportunities of 5G technology on the example of the countries of the European Union, as well as the relationship between cybersecurity risks and privacy issues around the world and, in particular, the Russian Federation.

**Keywords:** radio access network (RAN), privacy policies (POP), security policies (POS), ultra-dense deployment, 5G.

## REFERENCES

1. (2020). International Telecommunication Union, “Measuring digital development Facts and figures,” available at: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/FactsFigures2020.pdf>.
2. Garcia N. and et al. (2021). “Distributed real-time SlowDoS attacks detection over encrypted traffic using Artificial Intelligence,” (Accessed 27.10.22), available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804520303362>
3. (2021). European Commission, “Proposal for an ePrivacy Regulation,” (Accessed 27.10.22), available at: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/eprivacy-regulation>
4. (2021). European Commission, “Commission Implementing Decision (EU) 2021/914 on standard contractual clauses for the transfer of personal data to third countries pursuant to Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council,” (Accessed 22.10.22), available at: [http://data.europa.eu/eli/dec\\_impl/2021/914/oj](http://data.europa.eu/eli/dec_impl/2021/914/oj)
5. Liyanage, M. Salo, J. Braeken, A., Kumar, T. and Sen, S. (2018). “5G privacy: Scenarios and solutions,” (accessed 27.10.22), available at: <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfi-fe2019081524261.pdf>.
6. Neumuth, T. Bulitta, C. and Hamm, S. (2020). “5G Health - The need for 5G technologies in healthcare,” (accessed 27.10.22), available at: <https://www.researchgate.net/publication/3453>
7. Publications Office EU, “Handbook on European Data Protection Law, 2018 Edition,” (2018). (Accessed 27.10.22), available at: [https://www.key4biz.it/wp-content/uploads/2018/06/fra-coe-edps-2018-handbook-data-protection\\_en.pdf](https://www.key4biz.it/wp-content/uploads/2018/06/fra-coe-edps-2018-handbook-data-protection_en.pdf)
8. Rizou, S., Alexandropoulou-Egyptiadou, E. and Psannis, K. E. (2020). “GDPR interference with next generation 5G and IoT networks,” (Accessed 27.10.22).
9. Liyanage, M. Ahmad, I. and Abro, A. 2018. “A Comprehensive Guide to 5G Security,” [Accessed 27.10.22].
10. Goudos, S. Deruyck, M. Plets, D., Martens, L., Psannis, K. E., Sarigiannidis, P. and Joseph, W. (2019). “A novel design approach for 5G massive MIMO and NB-IoT green networks using a hybrid Jaya- differential evolution algorithm,” (Accessed 27.10.22).
11. Farhang, S., Hayel Y. and Zhu, Q. (2015). “PHY-layer location privacy preserving access point selection mechanism in next-generation wireless networks,” (Accessed 27.10.22).
12. 2017. European Commission, “EU Regulation concerning the respect for private life and the protection of personal data in electronic communications,” (Accessed 27.10.22), available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52017PC0010>.
13. Gupta R. and Rao, U. (2017). ‘An Exploration to Location Based Service and Its Privacy Preserving Techniques: A Survey’, (Accessed 27.10.22).
14. (2021). T. C. o. E. Union, “Mandate for negotiations with EP - Regulation concerning the respect for private life and the protection of personal data in electronic communications,” [Accessed 29.10.22], available at: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-6087-2021-INIT/en/pdf>.
15. GSMA, “The Mobile Economy 2021 Report,” (2021). [Accessed 23.10.22], available at: <https://www.gsma.com/mobileeconomy/>.
16. Dorsemaine, B., Gaulier, J., Wary, J., Kheir, N. and Urien, P. (2015). “Internet of Things: A Definition & Taxonomy,” 9th International Conference on Next Generation Mobile Applications; Services and Technologies, pp. 72-77.
17. Delacroix, S. and Lawrence, N.D. “(2019). Bottom-up data Trusts: disturbing the ‘one size fits all’ approach to data governance,” International Data Privacy Law, vol. 9, no. Issue 4, November 2019.
18. 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. 18. No. 4 (30). pp. 24-30.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ БИЗНЕС-АНАЛИТИКИ

© В. В. Сивов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия <sup>1</sup>ЦБ РФ, Россия

В настоящей статье предложено рассмотреть архитектуру BI (Business Intelligence) и ее различные компоненты. Архитектура бизнес-аналитики играет важную роль в успешном внедрении бизнес-аналитики. Банковские организации используют системы бизнес-аналитики для анализа своих данных в целях наилучшего понимания и предсказания поведения своих клиентов, повышения эффективности работы и модернизации предлагаемых продуктов, услуг и маркетинга. Работа направлена на формирование и обоснование выбора архитектуры систем Business Intelligence в банковской сфере. Рассматриваемую архитектуру важно учитывать в современной конкурентной бизнес-среде, поскольку она обеспечивает передовые методы управления данными, которые могут принести положительные результаты и максимизировать отдачу от ваших инвестиций в бизнес-аналитику. Актуальность настоящего исследования обусловлена возрастающей в современной банковской сфере потребностью в своевременном анализе и обновлении информации для увеличения темпов бизнес-производства, а также привлечения и удержания новых клиентов. Цель работы заключается в создании наиболее подходящей структуры бизнес-аналитики для банковской среды. При проведении исследования разработана и предложена к использованию в банковской сфере архитектура бизнес-аналитики, отвечающая большинству запросов пользователей: надежность, скорость обработки данных, наглядность результатов запрашиваемой информации, актуализация данных.

**Ключевые слова:** Business Intelligence, бизнес-аналитика, BI архитектура, инфраструктура, BI система, аналитика в банковской сфере, база данных, информационная система.

**Формат цитирования:** Сивов В. В. Проектирование комплексной архитектуры бизнес-аналитики // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. ТОМ XIV, № 1 (31). С. 28-39. DOI: 10.34708 / GSTOU.2023.30.28.003

В современной бизнес-среде качество информации играет жизненно важную роль в успешном принятии решений, в том числе в банковской отрасли. Чтобы оставаться конкурентоспособными, банки должны иметь гибкий и своевременный доступ к хорошо организованным хранилищам данных, которые повышают эффективность и предоставляют точную и актуальную информацию. Внутри организации бизнес-пользователи должны иметь доступ как к хранилищам данных, так и к аналитическим инструментам для принятия обоснованных решений. Эти ресурсы позволяют пользователям создавать отчеты и визуализировать данные для их дальнейшего представления руководству.

Стоит подробнее остановиться на дизайне систем бизнес-аналитики, которые позволяют удовлетворять указанные ранее потребности [1], [2], [3], [4], [5]. Работа с большими объемами данных требует значительной ответственности. Одна из основных проблем заключает-

ся в том, что многие банковские организации должным образом не принимают во внимание риски безопасности, надежности и отказоустойчивости, присущие различным компонентам архитектуры бизнес-аналитики [1]. Соответственно, правильное проектирование архитектуры системы BI является важным шагом в успешном внедрении решений BI в организации.

Архитектура бизнес-аналитики относится к структуре, которая описывает различные элементы BI и их правильную интеграцию для обеспечения эффективной работы системы BI [3].

Наличие надежной архитектуры BI имеет решающее значение, поскольку недостаточно продуманный дизайн может привести к следующим проблемам: трудности с обменом данными между компонентами; несоответствие бизнес-требованиям; низкая эффективность бизнеса; предоставление неверной информации. Заявленная тема актуальна в связи с ин-

тенсивным развитием BI-систем, которые должны соответствовать высоким стандартам надежности, расширением сферы их применения, а также возрастающей потребностью в постоянном анализе безопасности, надежности и своевременной доступности растущих данных.

Выполнен анализ научных и практических работ по теме бизнес-аналитики и BI-архитектуры в банковской сфере. Это позволило определить основные требования и компоненты BI-архитектуры, а также выявить проблемы, с которыми сталкиваются банковские организации при внедрении BI-систем. Существует описание нескольких BI-архитектур, различающихся по своей структуре, уровням, компонентам и процессам [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]. Заметным упущением в существующих архитектурах является аналитическая отчетность на уровне конечного пользователя [3], [8]. Отсутствие возможностей управления метаданными значительно ограничивает современные архитектуры бизнес-аналитики. Для обеспечения эффективного функционирования комплексная архитектура бизнес-аналитики должна включать уровень метаданных. Этот уровень позволяет организациям регулировать и отслеживать перемещение данных в среде BI, обеспечивать согласованность в определениях и описаниях данных, поддерживаемых компонентами BI, и предотвращать неверное (двойное) понимание и интерпретацию данных.

Следующим недостатком существующих архитектур является отсутствие оперативного хранилища данных в среде BI [7]. Внедрение Operational data store (ODS) значительно сокращает время между сбором данных в основном хранилище и их применением в операционных процессах. Использование оперативного хранилища данных позволяет создавать актуальные отчеты на основе данных о транзакциях из нескольких систем, обеспечивая своевременный анализ. Другие компоненты, отсутствующие в существующих архитектурах, включают в себя ведение журналов и управление доступом пользователей как на уровне хранилища данных, так и на уровне аналитических приложений. Целью данного исследо-

вания является создание и обоснование подходящей архитектуры для систем бизнес-аналитики в банковской отрасли. Успешность в выборе архитектуры проверяется по одному простому правилу: при штатной работе системы необходимая информация предоставляется именно тогда, когда она нужна. Если это правило не соблюдается, это, вероятно, означает, что аналитик и архитектор допустили ошибку при проектировании системы.

Архитектура бизнес-аналитики неоднократно рассмотрена в научной среде. Ряд авторов предлагали свои подходы к созданию надежной архитектуры. Так, М. Шариат и Р. Хайтауэр рассматривают сложности управления архитектурой бизнес-аналитики в сегодняшней среде, где имеется множество вендоров и сотни предложений продуктов. Авторы рекомендуют сотрудничество всех заинтересованных сторон, как внутри компании, так и с внешними вендорами. В статье представлена комплексная модель бизнес-аналитики, которая поможет руководителям получить полное представление об аналитике предприятия в отличие от существующего вендорского подхода с помощью дашбордов. Модель стандартизированной архитектуры бизнес-аналитики поможет руководству компании, IT-специалистам и вендорам иметь общее представление о приобретении, планировании, внедрении и поддержке технологий бизнес-аналитики. Модель адаптируется к наиболее популярным архитектурам на уровне абстракции, которая четко идентифицирует основные компоненты технологии бизнес-аналитики. Она также подчеркивает функциональные (процессные) зависимости между операционными системами, процессами Extract-Transform-Load (ETL), хранилищами данных, приложениями бизнес-аналитики и порталами бизнес-аналитики. Наконец, модель описывает типы данных (информацию), которые используются в каждом компоненте, и определяет соответствующие программные категории [9].

В свою очередь, М. Калелкар, П. Чури, Д. Калелкар описывают новый подход к разработке стратегии использования архитектуры Model-View-Controller (MVC) в бизнес-анали-

тике. Архитектура бизнес-аналитики состоит из инструментов и процессов ETL, хранилища данных, технической инфраструктуры и пользовательских интерфейсных инструментов. Главной проблемой, связанной с архитектурой бизнес-аналитики, является хранение данных из различных источников, что может привести к несогласованности при хранении и извлечении данных. Другой проблемой является обеспечение множества синхронизированных представлений данных в различных форматах.

Подход MVC предоставляет независимый подход к компонентам архитектуры бизнес-аналитики. Model предоставляет руководство по хранению неоднородных данных в одном формате и реализует основные функции системы. View обеспечивает множественные и синхронизированные представления, чтобы информация была доступна в удобочитаемом формате. Controller обрабатывает ввод пользователя. Все три независимые компоненты тесно связаны, что обеспечивает последовательность и гибкость архитектуры бизнес-аналитики. Подход MVC обеспечивает разделение основной обработки данных и функциональности, последовательность между различными представлениями, синхронизацию представлений, удобный пользовательский интерфейс, гибкость в обработке различных представлений и представление информации в различных формах [10].

Подход Model-View-Controller (MVC) имеет несколько потенциальных недостатков:

1. Несмотря на то, что MVC разделяет приложение на три независимых компонента, эти компоненты могут быть сложными для проектирования и разработки, особенно для небольших проектов.

2. Передача данных между компонентами может потребовать большого количества кода, что может привести к увеличению объема приложения и усложнению поддержки.

3. MVC может не подходить для некоторых типов приложений, например, для простых приложений, в которых нет множества интерактивных элементов интерфейса.

4. MVC может привести к неэффективному использованию ресурсов, если один

и тот же контроллер используется для обработки запросов от разных видов пользователей или для выполнения разных задач.

5. Некоторые разработчики могут иметь трудности с применением MVC из-за недостаточной подготовки или опыта в работе с этим подходом.

Л. Ву, Г. Бараш, К. Бартолини предлагают подход, основанный на сервисно-ориентированной архитектуре (Service Oriented Architecture, SOA), который позволяет интегрировать различные технологии в единую среду BI и упрощает доставку данных и аналитику. В работе авторами описывается, как применение SOA может уменьшить затраты на разработку и обслуживание, а также снизить риски и негативное влияние на всё предприятие при внедрении BI-решений. Авторы сравнивают свой подход с традиционными архитектурами BI и указывают на преимущества сервисно-ориентированного подхода, однако также признают, что введение SOA увеличивает сложность системы [11]. Помимо отмеченной сложности системы можно выявить следующие недостатки предложенного подхода:

1. Низкая производительность: SOA включает в себя множество слоев, что может привести к снижению производительности. Каждый вызов сервиса может привести к задержкам из-за необходимости прохождения через множество слоев.

2. Сложности масштабирования: SOA может быть сложна в масштабировании из-за необходимости управления большим количеством сервисов и их взаимодействия.

3. Сложности в обеспечении безопасности: SOA может быть сложна в обеспечении безопасности из-за необходимости обеспечения безопасности каждого сервиса, а также защиты данных, передаваемых между сервисами.

4. Сложности в мониторинге и управлении: Управление и мониторинг SOA может быть сложным из-за большого количества сервисов, взаимодействующих между собой.

5. Сложности в тестировании: SOA может быть сложна в тестировании из-за необходимости тестирования каждого сервиса от-



Рис. 1. Структура архитектуры VI

дельно и в контексте его взаимодействия с другими сервисами.

Целевая архитектура VI-платформы состоит из нескольких уровней, каждый из которых имеет свое назначение. Предлагаемая структура архитектуры VI включает следующие уровни, которые показаны на рисунке 1. Элементы структуры будут раскрыты далее в статье.

**Уровень источника данных** – первый уровень в целевой архитектуре VI-систем. Как известно, данные могут поступать из разных систем. Системы планирования ресурсов предприятия (ERP) координируют поток данных между корпоративными бизнес-процессами и базами данных, которые могут быть внутренними или внешними (размещенными в облаке). Системы управления взаимоотношениями с клиентами (CRM) содержат информацию о транзакциях, обслуживании клиентов, найме, маркетинге и выданных кредитах. Источниками данных также могут быть файлы данных, такие как форматы CSV или pdf. На современном рынке инструментов VI существует множество разнообразных быстрых коннекторов для отдельных видов систем, которые оптимизируют процесс, используя в фоновом режиме интеллектуальные механизмы ETL [1], [2].

В контексте банковской организации внедрение комплексной системы бизнес-аналитики (BI) требует надлежащей интегра-

ции данных из нескольких источников. Эти источники могут быть как внутренними, так и внешними по отношению к организации [7]. Внутренние источники включают в себя различные системы управления данными, такие как бюджетирование, закупки и другие, используемые самой организацией. Внешние источники, напротив, могут включать компании по исследованию рынка, правительственные и иные организации, находящиеся за пределами банка. Подобные источники могут содержать ценную бизнес-информацию (например, данные о клиентах, продуктах и продажах), обеспечивающую поддержание процессов принятия решений.

**Уровень извлечения данных.** Второй уровень – это уровень ETL [1], на котором данные извлекаются из источников, указанных на первом уровне. После извлечения данные проходят стадию очистки и обработки в целях обеспечения их точности и организованности при последующем анализе. Однако перед этим извлеченные данные временно сохраняются в области подготовки данных перед последующим преобразованием. Это необходимо для предотвращения необходимости повторного получения данных в случае возникновения каких-либо проблем.

Процесс преобразования данных может включать в себя определение бизнес-логики



для отображения данных и стандартизацию определений данных для обеспечения согласованности во всей организации. Поскольку данные могут быть несвязанными, содержать избыточные атрибуты, их необходимо очистить и преобразовать в корпоративный формат. Очистка данных относится к процессу выявления и исправления ошибок на основе предопределенных правил. После очистки данные загружаются в корпоративное хранилище данных. В этом случае ETL служит промежуточным уровнем между системами OLTP и системой OLAP или корпоративным хранилищем. Процесс ETL можно запланировать или запустить по требованию. Кроме того, инструменты ETL можно разделить на инструменты обработки в реальном времени и инструменты пакетной обработки.

**Уровень хранилища данных.** В хранилищах данных есть три уровня: операционный, промежуточный и аналитический (киоск данных).

ODS используется для интеграции данных со всех уровней ETL и их загрузки в хранилище данных. ODS – это база данных, в которой хранятся тематические, подробные и актуальные данные из различных источников. ODS обеспечивает актуальное предоставление данных, таких как транзакции и переводы в банковских организациях, информация о проверках [7]. После загрузки данных в ODS они передаются на промежуточный уровень, где подвергаются дальнейшему преобразованию и интеграции. Промежуточный уровень содержит данные из различных источников для оперативного анализа. Кроме того, хранилище данных содержит агрегированные или сводные данные, а также большие объемы исторических данных для долгосрочного анализа. Данные на этом уровне регулярно обновляются, например, еженедельно, ежедневно или в режиме реального времени [7]. Аналитический уровень – это последний уровень хранилища данных, на котором данные становятся доступными для запросов и анализа с помощью инструментов BI. Этот уровень содержит данные, которые были преобразованы и интегрированы с промежуточного уровня и структурированы

для быстрой обработки запросов. Аналитический уровень обычно используется для принятия стратегических решений и долгосрочного планирования.

Также важно не забывать о компонентах логирования и разграничения доступа пользователей к данным на уровне хранилища данных. Регистрация действий пользователя, ошибок (логов) и обращений к хранилищу может осуществляться как стандартными средствами баз данных, так и специализированным программным обеспечением. Многие программные продукты предоставляют большой функционал для сбора лог-файлов в целях последующего удобного анализа действий пользователя или отладки ошибок.

Управление доступом, а также ведение журналов могут осуществляться стандартными средствами баз данных и специализированным программным обеспечением. Разграничение доступа пользователей можно настроить для определенного среза данных, столбцов в таблице-витрине в базе данных или самой базе данных. Внедрение ведения журналов и разграничения доступа к конфиденциальным данным существенно повышает безопасность систем бизнес-аналитики и является важным аспектом в банковском секторе. Хранилище данных служит основой для бизнес-аналитики.

**Уровень качества данных.** Этот уровень является важным компонентом архитектуры BI. Основная цель прохождения уровня качества данных – обеспечение точности, полноты, непротиворечивости и актуальности данных, содержащихся в хранилище данных. Другими словами, уровень качества отвечает за соответствие используемых для анализа и принятия решения данных потребностям организации.

Для обеспечения надлежащего качества данных третий уровень обычно включает следующие процессы и методы: профилирование, стандартизация, очистка, обогащение и проверка данных. Эти процессы используются для выявления и исправления несоответствий данных, их дополнения, а также для обеспечения правильного форматирования данных при их подготовке к анализу. Уровень каче-

ства данных также включает механизмы мониторинга и контроля актуальности данных с течением времени для обеспечения гарантии точности предоставляемой информации даже при условии изменения потребностей организации и источников данных.

**Уровень управления данными.** Этот уровень направлен на обеспечение надлежащего администрирования и регулирования данных в организации, включая установление и соблюдение политик и стандартов данных, обеспечение надлежащего управления данными и их использования во всей организации, а также сохранение точности и согласованности данных в течение длительного периода времени.

Хотя оба уровня важны для обеспечения качества и надежности данных, уровень управления данными больше фокусируется на общем контроле информации, а уровень качества данных – на улучшении и поддержании актуальности сведений, находящихся в хранилище данных.

**Уровень безопасности данных.** Безопасность данных в системах ВІ имеет исключительную важность в банковской отрасли, поскольку банки хранят ценные бизнес-данные, которые могут быть полезны конкурентам или злоумышленникам [3]. Для защиты данных в системах ВІ можно использовать следующие меры:

1. Шифрование данных – это процесс преобразования данных в нечитаемую форму для защиты от несанкционированного доступа. Вы можете использовать различные алгоритмы шифрования, такие как AES, RSA или Blowfish.

2. Контроль доступа – это механизм, ограничивающий доступ к данным только авторизованным пользователям. Могут использоваться различные методы аутентификации, такие как логин и пароль, отпечатки пальцев и глаз [4].

3. Резервное копирование данных – это процесс создания копии данных для восстановления в случае потери, повреждения или уничтожения. Резервная копия может включать в себя не только копии самих дан-

ных, но и базы данных, программное обеспечение и системные настройки.

4. Сетевая безопасность – это меры, направленные на защиту сети, по которой передаются данные в системе ВІ. К подобным мерам можно отнести шифрование сетевого трафика, использование брандмауэров и др. [5].

5. Обнаружение инцидентов – это процесс отслеживания активности системы для обнаружения потенциальных угроз безопасности и предупреждения пользователей о них. Это могут быть системы ведения журналов, системы обнаружения и предотвращения вторжений (IDPS) и другие инструменты мониторинга.

**Уровень метаданных.** Поскольку огромный объем данных, генерируемых организациями, продолжает расти, потребность в эффективном и действенном управлении этими данными становится все более актуальной. Уровень метаданных систем ВІ играет решающую роль в этом процессе, обеспечивая всестороннее понимание используемых данных. Информация, находящаяся в централизованном хранилище метаданных, служит основой для эффективного управления данными и их анализа.

В системе ВІ уровень метаданных действует как описательная структура для данных, предоставляющая такую информацию, как имена и определения столбцов в базе данных, отношения между таблицами, вычисления и преобразования, которые были применены к данным. Метаданные используются инструментами ВІ для помощи пользователям в понимании данных и работе с ними, а также для автоматизации процессов отчетности и анализа. Централизованное хранение метаданных в репозитории помогает обеспечить целостность, доступность и понимание данных в организации. Предоставляя единый источник достоверных данных, репозиторий помогает устранить несоответствия и неточности в отчетности и анализе. Кроме того, предоставляя централизованное место для управления метаданными и их обновления, репозиторий помогает поддерживать актуальность метаданных по мере развития баз данных [2].

**Уровень отчетности.** Способность архитектуры бизнес-аналитики облегчать принятие

решений на основе данных является важнейшим аспектом любого бизнеса. Без возможностей хранения данных и бизнес-аналитики этот этап был бы недостижим [2], [11].

Уровень отчетности – это пользовательский интерфейс с инструментами доступа к данным BI поверх многомерных структур. Именно здесь технический уровень (базы данных и отношения) становится бизнес-уровнем, понятным конечному пользователю. Например, топ-менеджмент компаний обычно использует аналитические приложения, а инструменты запросов и отчетов используются в основном на уровне оперативного управления. Кроме того, сложные маркетинговые проблемы часто требуют анализа большого объема данных и выявления скрытых зависимостей и паттернов, которые могут быть неочевидными для человека. Для решения таких задач используются технологии машинного обучения, которые позволяют автоматически обрабатывать и анализировать большие объемы данных, находить скрытые зависимости и предсказывать будущие тренды [12], [13].

В продукте бизнес-аналитики устанавливаются источники данных для отчетов и информационных панелей. Каждый источник данных в продукте BI имеет свою определенную модель, которая строится с использованием таблиц, добавленных к уровню источника данных. Сложность такой модели может варьироваться от одной до нескольких таблиц с различными комбинациями отношений и объединений [14], [15].

Система аналитической отчетности состоит из следующих уровней:

Физический уровень, также известный как «Физическая модель». Содержит все запросы, добавленные из источника данных. Объекты на физическом уровне не переименовываются. Физические таблицы должны формироваться в одну плоскую логическую таблицу посредством соединения или объединения.

Логический уровень, также известный как «Логическая модель». Содержит ссылки на физический уровень, как правило, структурирован по бизнес-направлениям.

Технические атрибуты логического уров-

ня скрыты от пользователей, а объекты переименованы в названия компаний, понятные пользователям. Логический уровень представляет собой высокоуровневое представление источника данных с несколькими связанными таблицами и не использует таблицы соединения или объединения. Таблицы на логическом уровне не нужно объединять в источнике данных, вместо этого они остаются отдельными (нормализованными) и сохраняют свой уровень детализации. Они используются в качестве контейнера для таблиц физического уровня, при этом каждая логическая таблица содержит одну или несколько физических таблиц.

Уровень представления системы бизнес-аналитики (BI), который соответствует бизнес-названиям областей. Он является важным компонентом, который предоставляет бизнес-пользователям организованный и интуитивно понятный интерфейс баз данных. Цель уровня представления состоит в том, чтобы абстрагироваться от сложностей физического и логического уровней и предоставить простые и удобные для пользователя средства доступа и анализа данных.

Уровень представления состоит из ссылок на объекты логического уровня и организован для удовлетворения потребностей бизнес-пользователя. Этот уровень отвечает за визуализацию данных таким образом, чтобы их было легко понять и предоставить содержательную информацию. Он включает в себя информационные панели, отчеты и инструменты визуализации данных, которые позволяют бизнес-пользователям взаимодействовать с данными в соответствии с имеющимися запросами и потребностями. Одним из ключевых преимуществ уровня представления является его способность консолидировать несколько логических моделей для сравнительного анализа отдельных областей бизнеса. Это позволяет пользователям легко сравнивать данные по различным отделам или бизнес-подразделениям, предоставляя важную информацию об эффективности организации.

Уровень представления имеет решающее значение в контексте различных типов систем BI, включая отчетность, анализ данных, опера-

тивное управление (операционный VI) и стратегическое управление. Он предоставляет бизнес-пользователям необходимый интерфейс для доступа к данным, извлечения информации и принятия обоснованных решений на основе этих данных [16], [17], [18].

**Уровень балансировки нагрузки.** Этот уровень в архитектуре бизнес-аналитики (BI) характеризуется распределением объема работы системы по ее компонентам, направленным на снижение нагрузки на отдельные элементы и повышение надежности и производительности системы в целом. Балансировка может включать в себя распределение нагрузки между различными серверами, использование отдельных балансировщиков нагрузки для равномерного распределения запросов к серверам и применение кэширования для снижения нагрузки на базу данных. Правильный дизайн и конфигурация уровня балансировки нагрузки обеспечивают стабильность и эффективность системных операций, особенно в контексте бизнес-аналитики в банках.

Разработка детально спроектированного уровня балансировки обеспечивает высокую надежность и отказоустойчивость системы, увеличивает ее производительность. Например, если один из серверов в кластере выходит из строя, балансировщик нагрузки может автоматически перенаправлять запросы на дру-

гие серверы, чтобы система могла продолжать работу независимо от сбоев в отдельных компонентах. Аналитические приложения предоставляют такие функции, как моделирование, прогнозирование, анализ продаж и сценарии «что, если», которые в совокупности позволяют распределять нагрузку. Аналитические приложения позволяют пользователям получить представление о повышении эффективности бизнес-операций [19], [20], [22], [23].

Для эффективной работы требуется наличие связей между всеми описанными слоями. Данные необходимо собирать из внутренних и внешних источников, затем извлекать, преобразовывать и загружать на уровень хранилища данных, откуда их можно отправлять в витрины данных для анализа. Пользователи могут получить доступ к системе управления информацией (DWH) и витринам данных с помощью различных инструментов, таких как запросы, визуализация, аналитические приложения, отчеты и информационные панели. Необходимым представляется внедрение ведения журнала, управления доступом хранилища данных и балансировки нагрузки на веб-сервере BI на уровне конечного пользователя. Логирование действий пользователя и запросов от BI-приложения к хранилищу может осуществляться как самим аналитическим приложением, так и специализированным про-

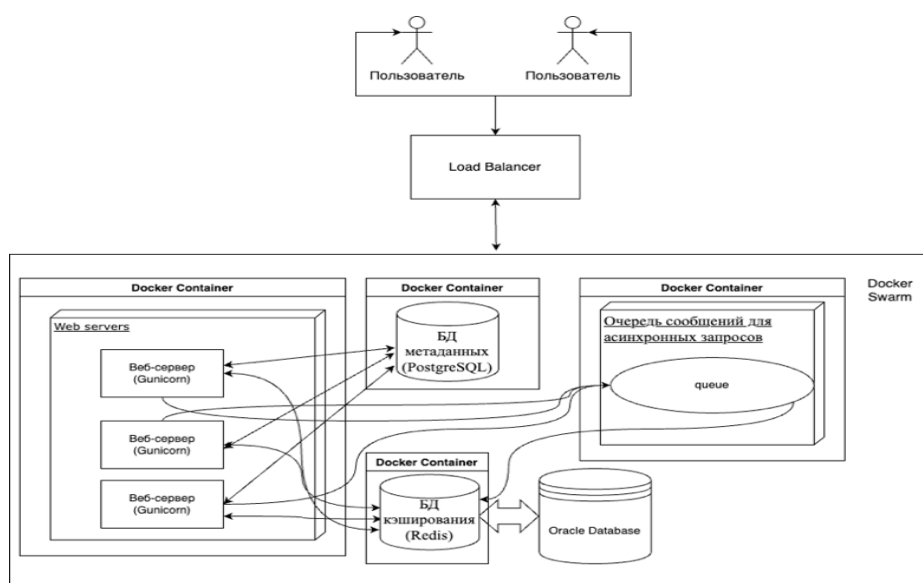


Рис. 2. Архитектура микросерверной архитектуры BI с балансировщиком нагрузки

граммным продуктом. Для удобного анализа действий пользователя рекомендуется создать аналитическое приложение, которое будет собирать лог-файлы и предоставлять их для анализа в виде дашборда [24], [25], [26]. На рисунке 2 приведен пример реализации балансировщика нагрузки с ВІ инструментом в микросервисной архитектуре.

Ряд программных продуктов предоставляет расширенный функционал по сбору лог-файлов для последующего удобного анализа действий пользователя. Контроль доступа должен осуществляться на уровне аналитических приложений. Сюда входит разграничение при администрировании аналитического приложения, дифференциация срезов данных на уровне пользователя и деление пользователя на уровне отчета.

Ведение журнала и контроль доступа необходимы для повышения безопасности аналитического приложения.

**Заключение.** В настоящей статье предложена целевая структура архитектуры ВІ для банковского сектора. Платформа подчеркивает важность различных компонентов, таких как управление метаданными, онлайн-хранилище данных, уровень конечного пользователя, ведение журнала, контроль доступа и балансировка нагрузки в целях обеспечения успеха внедрения бизнес-аналитики.

Исследование продемонстрировало, что хорошо спроектированная архитектура ВІ может дать организациям многочисленные преимущества, такие как повышение эффективности, улучшение качества данных и поддержка принятия решений на основе таких данных. Использование управления метаданными и онлайн-хранилища данных помогает обеспечить точность и согласованность информации в организации, а контроль доступа и балансировка нагрузки обеспечивают бесперебойную работу системы даже при высоких уровнях использования данных. Уровень конечных пользователей обеспечивает важнейший интерфейс между данными и бизнес-пользователями, позволяя им получать доступ к релевантной информации, необходимой им для выполнения своих повседневных задач. Ведение журнала обеспечивает подробную запись активности системы, помогая диагностировать и устранять любые проблемы, которые могут возникнуть.

В заключение стоит отметить, что предлагаемая архитектура для систем бизнес-аналитики в банковской отрасли представляет собой комплексный подход, обеспечивающий успешное внедрение системы бизнес-аналитики и достижение положительных результатов в организации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Baars H., Kemper H.G.* Management support with structured and unstructured data – an integrated business intelligence framework // *Information systems management*. 2008. Т. 25. №2. С. 132-148.
2. *Rachmiel A.G., Morgan N.P., Danielewski D.* Batch management of metadata in a business intelligence architecture: пат. 8073863 США. 2011.
3. *Turban E. et al.* Business intelligence: A managerial approach. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2008. С. 58-59.
4. *Anandarajan M.* Business intelligence techniques. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 2004.
5. *Сивов В. В.* Безопасность данных в системе бизнес-аналитики // *Информационные системы и технологии в моделировании и управлении*. 2019. С. 142-145.
6. *Negash S., Gray P.* Business intelligence. Handbook on decision support systems. Springer, Berlin, Heidelberg. 2008. P. 175-193.
7. *Luhn H.* A business intelligence system // *IBM Journal of research and development*. 1958. P. 314-319.
8. *Imhoff C., Galletto N., Geiger J.* Mastering data warehouse design: relational and dimensional techniques. John Wiley & Sons. 2003. 457 p.

9. *Shariat M., Hightower R.* Conceptualizing business intelligence architecture // *Marketing Management Journal*. 2007. Т. 17. №2. С. 40-46.
10. *Kalelkar M., Churi P., Kalelkar D.* Implementation of model-view-controller architecture pattern for business intelligence architecture // *International Journal of Computer Applications*. 2014. Т. 102. №12.
11. *Wu L., Barash G., Bartolini C.* A service-oriented architecture for business intelligence // *EEE international conference on service-oriented computing and applications (SOCA'07)*. IEEE, 2007. С. 279-285.
12. *Алисултанова Э.Д., Тасуев У.Р., Мусеенко Н.А.* Технологии машинного обучения в бизнесе на основе нейронных сетей // *Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XVII. №2. Грозный, 2021. С. 5-10.*
13. *Мусеенко Н.А., Джабраилов И.С.* Проектирование информационной системы управления организацией: необходимость современности // *Вестник ГГНТУ. Технические науки. Том XV. №2. Грозный, 2019. С. 47-55.*
14. *Watson H.* Tutorial: business intelligence – past, present, and future // *Communications of the Association for Information Systems*. 2009. P. 39.
15. *Inmon W.* *Building the data warehouse*/John Wiley & sons. 2005. 576 p.
16. *Богатырев В.А.* Комбинаторно-вероятностная оценка надежности и отказоустойчивости кластерных систем // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. №6. 2006. С. 21-26.*
17. *Богатырев В.А.* Оценка надежности и оптимальное резервирование кластерных компьютерных систем // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. №10. 2006. С. 18-21.*
18. *Богатырев В.А., Богатырев А.В., Богатырев С.В.* Перераспределение запросов между вычислительными кластерами при их деградации // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение. Т. 57. №9. 2014. С. 54-58.*
19. *Bogatyrev V.A., Bogatyrev A.V., Bogatyrev S.V.* Redundant multi-path service of a flow heterogeneous in delay criticality with defined node passage paths // *Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2021. Т. 1864. №1. С. 012094.*
20. *Cuzzocrea A., Song I.Y., Davis K.C.* Analytics over large-scale multidimensional data: the big data revolution! // *Proceedings of the ACM 14th international workshop on Data Warehousing and OLAP*. 2011. P. 101-104.
21. *Sarawagi S., Agrawal R., Megiddo N.* Discovery-driven exploration of OLAP data cubes // *International Conference on Extending Database Technology*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1998. P. 168-182.
22. *Abouzeid A. et al.* HadoopDB: an architectural hybrid of MapReduce and DBMS technologies for analytical workloads // *Proceedings of the VLDB Endowment*. 2009. №1. P. 922-933.
23. *Agrawal D., Das S., El Abbadi A.* Big data and cloud computing: current state and future opportunities // *Proceedings of the 14th international conference on extending database technology*. 2011. P. 530-533.
24. *Cuzzocrea A., Bertino E.* Privacy preserving OLAP over distributed XML data: a theoretically sound secure-multiparty-computation approach // *Journal of Computer and System Sciences*. 2011. №6. P. 965-987.
25. *Cattell R.* Scalable SQL and NoSQL data stores // *Acm Sigmod Record*. 2011. №4. P. 12-27.
26. *Dehne F., Eavis T., Rau-Chaplin A.* The cgmCUBE project: Optimizing parallel data cube generation for ROLAP // *Distributed and Parallel Databases*. 2006. №1. P. 29-62.

## DESIGNING COMPLEX ARCHITECTURE OF BUSINESS ANALYSIS

© V. V. Sivov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*ITMO University, St. Petersburg, Russia*

<sup>1</sup>*Central Bank of the Russian Federation, Russia*

This article proposes to consider the architecture of BI and its various components. Business analytics architecture plays an important role in the successful implementation of business analytics. Banking organizations use business analytics systems to analyze their data for a better understanding and prediction of their customers' behavior, increasing efficiency, and modernizing the products, services, and marketing offered. The work is aimed at forming and justifying the choice of Business Intelligence systems architecture in the banking industry. The considered architecture is important to consider in the modern competitive business environment as it provides advanced data management methods that can bring positive results and maximize the return on your investments in business analytics. The relevance of this study is due to the growing need in the modern banking industry for timely analysis and updating of information to increase business production rates, as well as to attract and retain new customers. The goal of the work is to create the most suitable structure of business analytics for the banking environment. In conducting the research, a business analytics architecture has been developed and proposed for use in the banking industry that meets the majority of user requests: reliability, data processing speed, clarity of requested information results, and data actualization.

**Keywords:** Business Intelligence, Business Analytics, BI Architecture, Infrastructure, BI System, banking analytics, data base, information system.

### REFERENCES

1. Baars, H., Kemper, H. G. (2008). 'Management support with structured and unstructured data—an integrated business intelligence framework'. *Information systems management*. Vol. 25. №. 2. Pp. 132-148.
2. Rachmiel, A.G., Morgan, N. P., Danielewski, D. (2011). Batch management of metadata in a business intelligence architecture. USA. Patent No 8073863.
3. Turban, E. et al. (2008). 'Business intelligence: A managerial approach'. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall. 292 p.
4. Anandarajan, M. (2004). *Business intelligence techniques*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH.
5. Sivov, V.V. (2019). 'Bezopasnost' dannyh v sisteme bisnes-analitiki'. V sbornike: Informacionnyye sistemy I tehnologii v modelirovanii i upravlenii. Pp. 142-145.
6. Negash, S., Gray, P. (2008). 'Business intelligence. Handbook on decision support systems'. Springer, Berlin, Heidelberg. Pp. 175-193.
7. Luhn, H. (1958). 'A business intelligence system'. *IBM Journal of research and development*. Pp. 314-319.
8. Imhoff, C., Gallemmo, N. and Geiger, J. (2003). *Mastering data warehouse design: relational and dimensional techniques*. John Wiley & Sons. 457 p.
9. Shariat, M., Hightower, R. (2007). 'Conceptualizing business intelligence architecture'. *Marketing Management Journal*. Vol. 17. №. 2. Pp. 40-46.
10. Kalelkar, M., Churi, P., Kalelkar, D. (2014). 'Implementation of model-view-controller architecture pattern for business intelligence architecture'. *International Journal of Computer Applications*. Vol. 102. №. 12.
11. Wu, L., Barash, G., Bartolini, C. (2007). 'A service-oriented architecture for business intelligence'. *IEEE international conference on service-oriented computing and applications (SOCA'07)*. Pp. 279–285.
12. Alisultanova, E. D., Tasuev, U. R., Moiseenko, N. A. (2021). 'Machine learning technologies

- in business based on neural networks'. Herald of GSTOU. Technical sciences. Vol. XVII, 2, Grozny, pp. 5-10.
13. Moiseenko, N.A. and Dzhabrailov, I.S. (2019). 'Designing an information system for managing an organization: the need for modernity'. Herald of GSTOU. Technical sciences. Vol. XV, 2 (16), Grozny.
  14. Watson, H. (2009). 'Tutorial: business intelligence—past, present, and future'. Communications of the Association for Information Systems. P. 39.
  15. Inmon, W. (2005). Building the data warehouse. John Wiley & sons. 576 p.
  16. Bogatyrev, V. A. (2006). 'Combinatorial-probabilistic evaluation of reliability and fault tolerance of cluster systems'. Instruments and systems. Management, control, diagnostics. No. 6, pp. 21-26.
  17. Bogatyrev, V. A. (2006). 'Evaluation of reliability and optimal backup of cluster computer systems'. Instruments and systems. Management, control, diagnostics. No. 10, pp. 18-21.
  18. Bogatyrev, V. A., Bogatyrev, A. V., and Bogatyrev, S.V. (2014). 'Reassignment of requests between computing clusters during their degradation'. Proceedings of higher educational institutions. Instrumentation engineering. Vol. 57, no. 9, pp. 54-58.
  19. Bogatyrev, V. A., Bogatyrev, A. V. and Bogatyrev, S.V. (2021). 'Redundant multi-path service of a flow heterogeneous in delay criticality with defined node passage paths'. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1864. №. 1. P. 012094.
  20. Cuzzocrea, A., Song, I. Y. and Davis, K.C. (2011). 'Analytics over large-scale multidimensional data: the big data revolution!'. Proceedings of the ACM 14th international workshop on Data Warehousing and OLAP. Pp. 101-104.
  21. Sarawagi, S., Agrawal, R. and Megiddo, N. (1998). 'Discovery-driven exploration of OLAP data cubes'. International Conference on Extending Database Technology. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 168-182.
  22. Abouzeid, A. et al. (2009). 'HadoopDB: an architectural hybrid of MapReduce and DBMS technologies for analytical workloads'. Proceedings of the VLDB Endowment. №. 1. Pp. 922-933.
  23. Agrawal, D., Das, S. and El Abbadi, (2011). 'A. Big data and cloud computing: current state and future opportunities'. Proceedings of the 14th international conference on extending database technology. Pp. 530-533.
  24. Cuzzocrea, A. and Bertino, E. (2011). 'Privacy preserving OLAP over distributed XML data: a theoretically-sound secure-multiparty-computation approach'. Journal of Computer and System Sciences. №. 6. Pp. 965-987.
  25. Cattell, R. (2011). 'Scalable SQL and NoSQL data stores'. Acm Sigmod Record. №. 4. Pp. 12-27.
  26. Dehne, F., Eavis, T. and Rau-Chaplin, A. (2006). 'The cgmCUBE project: Optimizing parallel data cube generation for ROLAP'. Distributed and Parallel Databases. №. 1. Pp. 29-62.



## ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК665.6:665.77

DOI: 10.34708/GSTOU.2023.24.53.004

### ТЕМПЕРАТУРЫ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПАРАФИНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

© Э. А. Александрова<sup>1</sup>, Хадисова Ж. Т.<sup>2,3</sup>, Б. Л. Александров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>КГАУ, Краснодар, Россия

<sup>2</sup>ГГНТУ, Грозный, Россия

<sup>3</sup>ЧГУ им. А. А. Кадырова, Грозный, Россия

Исследованы температуры фазовых превращений парафино-полимерных композиций дифференциально-термическим (ДТА) и dilatометрическим методами с программируемой скоростью охлаждения и автоматической записью кривых «температура-время  $T - \tau$ », ДТА и «объём  $V - \tau$ ». Построены графические зависимости температур начала ( $T_k$ ), конца кристаллизации ( $T_{кк}$ ) и фазовых гексагонально-ромбических  $H \rightarrow R$  превращений в твёрдом состоянии ( $T_{H \rightarrow R}$ ) нефтяного пищевого парафина П-1 от содержания полимерных модификаторов (полиэтилена низкого давления (ПЭНД), полиэтиленовых восков (ПВ), атактического полипропилена (АПП) и сополимеров этилена с винилацетатом (СЭВ)). Показано, что парафин марки П-1 кристаллизуется сначала в H-, а затем и в R-фазе.

**Ключевые слова:** парафин, полимеры, композиции, температуры фазовых превращений.

**Формат цитирования:** Александрова Э. А., Хадисова Ж. Т., Александров Б. Л. Температуры фазовых превращений парафино-полимерных композиций // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIV, № 1 (31). С.40-48. DOI: 10.34708/GSTOU.2023.24.53.004

Развитие современных технологий, а также потребность современной техники и народного хозяйства в новых недорогих, перспективных материалах привело к появлению полимерных материалов, которые обладают исключительными эксплуатационными качествами. Так в качестве добавок, модифицирующих дисперсную структуру твёрдых нефтяных парафинов, применяют нефтяные церезины (микроромбические парафины) и воски, полимеры и их сополимеры с олефинами, а также их сочетание [1-4, 8, 10-12]. Приведенные в литературе парафино-восковые композиции служат для ряда отраслей народного хозяйства (судостроительной, станкостроительной, птицеперерабатывающей, мясомолочной и другой). Эти важные в практическом отношении работы, однако, носят частный характер. Учитывая широкий спрос в различных отраслях промышленно-

сти и уникальные температурные и структурно-механические свойства твердых сплавов парафинов с более высокомолекулярными продуктами, нами в данной работе исследованы полимерно-парафиновые композиции. Показано, что эксплуатационные температурные показатели качества парафинов можно изменять введением в них добавок полимерных веществ (ПЭНД, ПВ, АПП и СЭВ). Изучены температурные свойства композиций пищевого парафина с полимерными веществами для целенаправленного подбора компонентного состава композиций с необходимыми температурными свойствами. Особая значимость данной работы заключается в том, что систематизированное обобщение в этом направлении проведено авторами впервые и является научной основой для создания различных полимерно-парафиновых композиций с необходимыми температурными свойствами.

**Методы и объекты исследования.** В парафино-полимерных расплавах при понижении температуры формируется дисперсная структура твердеющей системы. Это возможно лишь при определенной концентрации выкристаллизовавшейся дисперсной фазы полимеров, достаточной для образования пространственной сетки кристаллов и в отсутствие разрушающего их связи перемешивания. Нами в работах [5-7] показано, что при понижении температуры структурообразование парафинов сопровождается полиморфными превращениями.

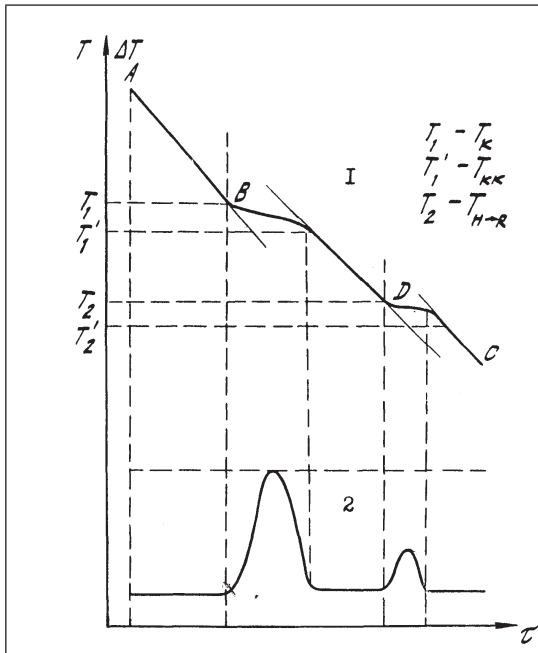
Процесс структурообразования парафино-полимерных сплавов рассматривался поэтапно. Первая стадия – образование зародышей кристаллов, который определялся температурой начала кристаллизации  $T_k$ . Вторая стадия – структурообразование с накоплением твердой фазы. Максимальная температура, при которой происходит образование пространственной дисперсной структуры, включающей в свои поры жидкую дисперсионную среду, соответствует температуре застывания ( $T_3$ ). Температура застывания  $T_3$  или плавления  $T_s$  оценивалась по потере текучести (в упрощенном варианте на шарике термометра). Третья стадия – продолжение структурообразования от  $T_3$  до конца кристаллизации  $T_{кк}$ , когда вся жидкая фаза переходит в твердое состояние. Четвертая стадия – модификационный переход кристаллов парафина из гексагональной  $H$ -сингонии ( $\alpha$ -фазы) в ромбическую  $R$  ( $T_{H \rightarrow R}$ ) или  $\beta$ -фазу. Этот переход более характерен для чистых  $n$ -алканов и твердых нефтяных парафинов и часто не проявляется в более сложных смесях. Пятая стадия – охлаждение кристаллической ромбической  $R$  или  $\beta$ -фазы до заданной температуры охлаждения ( $T_0$ ).

Для сравнения полимерно-парафиновых сплавов между собой их температурные свойства оценивались единой характеристикой – температурой плавления  $T_s$  ( $T_s, K = t_s, C + 273$ ) (ГОСТ 4255-75) или застывания  $T_3, K$  ( $T_3, K = t_3, C + 273$ ) (ГОСТ 2287-74).

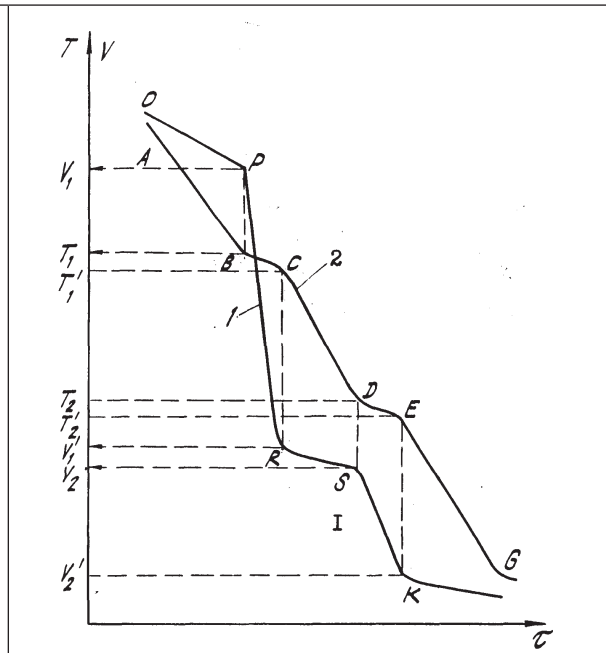
*Метод совместного дифференциально-термического и dilatометрического исследования.* Температурные пределы фазовых

превращений – температуры начала ( $T_k$ ), конца кристаллизации ( $T_{кк}$ ) и фазовых гексагонально-ромбических  $H \rightarrow R$  превращений в твердом состоянии ( $T_{H \rightarrow R}$ ) для расплавов парафинов и их смесей определялись термографическим и dilatометрическим методами на специально созданных лабораторных установках, обеспечивающих программированное охлаждение исследуемой системы. Обеспечение медленной скорости охлаждения  $0,01 \div 0,05$  град/с позволяло приблизить условия кристаллизации к равновесным [5]. Устройство для термического (ТА) и более совершенного дифференциально-термического анализа (ДТА) включало блок программированного охлаждения образца и блок измерения его температуры; это позволяло автоматически записывать кривые «температура-время  $T - \tau$ » и ДТА. По кривым  $T - \tau$  (кривая 1) и ДТА (кривая 2), как показано на рис. 1, определялись температурные пределы фазовых превращений  $T_k$ ,  $T_{кк}$  и  $T_{H \rightarrow R}$  исследуемых полимерно-парафиновых систем.

Эти методы выгодно отличаются более высокой точностью и простотой от ультразвукового и электрического, предусматривающих механическое и электромагнитное воздействие на анализируемый продукт и, тем самым, влияющих на процесс кристаллизации. Полученные результаты уточнялись dilatометрическим и терморентгенографическим методами. Dilatометрический метод основан на специфическом свойстве парафинов резко изменять объем при температурах фазовых превращений. Для разработки этого метода было проведено исследование взаимосвязи температур фазовых превращений с контракцией (объемной усадкой) и тепловыми эффектами, сопровождающими эти переходы. Проведенное исследование процесса фазовых превращений парафинов при охлаждении их расплавов позволило установить, что температура, при которой наблюдается резкое изменение величины контракции, практически полностью совпадает с температурой начала кристаллизации, а при модификационном фазовом переходе – с температурой этого перехода. Эти выводы были подтверждены дифференциально-термическим анализом.



**Рис. 1.** Типичные кривые охлаждения термического (1) и дифференциально-термического (2) анализа



**Рис. 2.** Дилатометрическая (1) и термографическая (2) кривые охлаждения

Обнаруженная закономерность была использована для аналитического контроля температур фазовых превращений. Совмещенные на одной диаграмме рисунка 2 записи термограммы ( $T - \tau$ ) (кривая 2) и контракциогаммы ( $V - \tau$ ) (кривая 1) позволяют графическим путем определить температурные интервалы фазовых превращений. На кривой ( $V - \tau$ ) четко выделяются две области структурообразования: первая  $V_1 V_1'$  – от начала формирования новой фазы (температура  $T_1 = T_k$ ) до образования пространственной дисперсной структуры из кристаллов гексагональной сингонии (температура  $T_1' = T_{kk}$ ) и вторая  $V_2 V_2'$  – фазового перехода кристаллической гексагональной  $H$ -фазы в ромбическую модификацию  $R$  (температурные пределы  $T_{H \rightarrow R}$ , соответствующие  $T_2$  и  $T_2'$ ). Для определения по дилатометрическим кривым температуры начала кристаллизации необходимо из точки дилатометрической кривой  $P$ , соответствующей моменту резкого изменения объема, провести прямую, параллельную оси ординат, до пересечения с термографической кривой в точке  $B$ . Точка  $B$  будет характеризовать температуру начала кристаллизации  $T_k$ , обозначенную на кривой  $T_1$ . Аналогичным путем находят температу-

ры  $T_{kk} = T_1'$  и  $T_{H \rightarrow R}$ , (рис. 2). Программированное охлаждение исследуемых систем со скоростью  $0,01 \div 0,05$  град/с и автоматическая запись кривых «температура-время  $T - \tau$ », дифференциально термического анализа (ДТА), и контракциогамм ( $V - \tau$ ) позволили графическим путем определять температуры фазовых превращений с воспроизводимостью результатов измерения не ниже  $\pm 0,2$  град.

Сравнительные результаты измерения температур фазовых превращений с использованием методов дилатометрии и ДТА парафинов получены для нефтяных парафинов Озексуатской нефти следующих марок: пищевой П-1 ( $T_s = 328,3K$ ;  $T_{H \rightarrow R} = 309,1K$ ); В<sub>2</sub> ( $T_s = 327,2 K$ ;  $T_{H \rightarrow R} = 308,7 K$ ); Т ( $T_s = 326,1K$ ;  $T_{H \rightarrow R} = 308,1K$ ) и синтетического  $n-C_{24}H_{50}$  ( $T_s = 323,7K$ ;  $T_{H \rightarrow R} = 319,2K$ ). Они подтвердили хорошую сходимость измерений указанными методами. При этом воспроизводимость результатов измерения температур фазовых превращений дилатометрическим методом, подтвержденная дифференциально-термическим анализом, была не ниже  $\pm 0,2$  град. Следует отметить, что температуры конца кристаллизации или начала плавления парафина, определенные термографическим и дилатометрическим

методами практически совпадали с температурами начала проявления рентгеноаморфности в этих системах при их нагревании установленными нами терморентгенографически. Терморентгенография позволила также подтвердить надежность используемых dilatометрического и ДТА методов при измерении температур  $R \rightarrow H$  переходов парафинов и их смесей.

*Характеристика исследованных полимеров.* В данной работе исследованы закономерности и особенности изменения температурных свойств полимерно-парафиновых композиций в зависимости от их состава. При приготовлении полимерно-парафиновых композиций за основу брали пищевой парафин марки П-1 Озексуатской нефти, с которым сплавляли полимерные компоненты. Совместное плавление парафина П-1 с полимерами осуществлялось при температурах, на 20 град превышающих температуру растворения полимеров в парафине. Для целенаправленного подбора компонентного состава полимерно-парафиновых композиций с заданными свойствами нами в данной работе изучено изменение температурных свойств пищевого парафина П-1 в зависимости от концентрации полимеров ( $C_n$ ).

При составлении бинарных смесей с парафином П-1 использовались следующие полимеры: полиэтилен низкого давления (ПЭНД), полиэтиленовые воски (ПВ), атактический полипропилен (АПП) и сополимеры этилена с винилацетатом (СЭВ). Физико-химические свойства использованных нами полимерных систем представлены ниже в таблицах 1-3.

*Полиэтиленовые воски (ПВ)* были получены двумя способами: методом термической деструкции (ПВ-25, ПВ-100, ПВ-300, ПВ-800, ПВ-1000) и в процессе производства полиэтилена (ПЭ) образцы 1-3, таблицы 1 и 2).

*Сополимеры этилена с винилацетатом (ТУ N 6-05-1636-97), промышленное название сэвилен (СЭВ) – высокомолекулярные полиолефины.* По сравнению с полиэтиленом они обладают повышенными эластичностью, адгезией к различным материалам, теплоёмкостью, растворимостью и др. Чаще всего на практике используют СЭВ с 10÷50%-м содержанием винилацетата (ВА). Нами применяли сплавы парафина П-1 и СЭВ с мас.% ВА: 11, 28 и 40-44 (табл. 3). С увеличением содержания винилацетата снижаются температуры растворения сополимеров в различных углево-

Таблица 1 – Физико-химические свойства ПВ, полученные методом термической деструкции

Показатели	ПВ-25	ПВ-100	ПВ-300	ПВ-800	ПВ-1000
Температура каплепадения, К	369	371	372	373	378
Молярная масса, г/моль	850	1500	2400	3500	4000
Вязкость динамическая при 413К $\eta$ , Па·с	0,028	0,10	0,32	0,75	1,50

Таблица 2 – Физико-химические свойства ПВ, в процессе производства ПЭ

Полиэтиленовые воски	Температура каплепадения Т, К	Молярная масса, г/моль	Плотность $\rho^{293}$ , кг/м <sup>3</sup>	Вязкость при 413К $\eta$ , Па·с
Образец 1	368	1010	880,0	0,060
Образец 2	373	1500	895,0	0,090
Образец 3	378	2600	930,0	0,450

Таблица 3 – Физико-химические свойства сополимеров СЭВ с ВА

Показатели	Содержание ВА в сополимере, % мас.			
	5÷7	9÷14	17÷22	24÷30
Плотность при 293К, кг/м <sup>3</sup>	930	934	944	950
Температура хрупкости, К	173	173	233	
Прочность при растяжении, МПа	15-14	14-10	12-8	5-4
Относительное удлинение, %	750	700	670	550

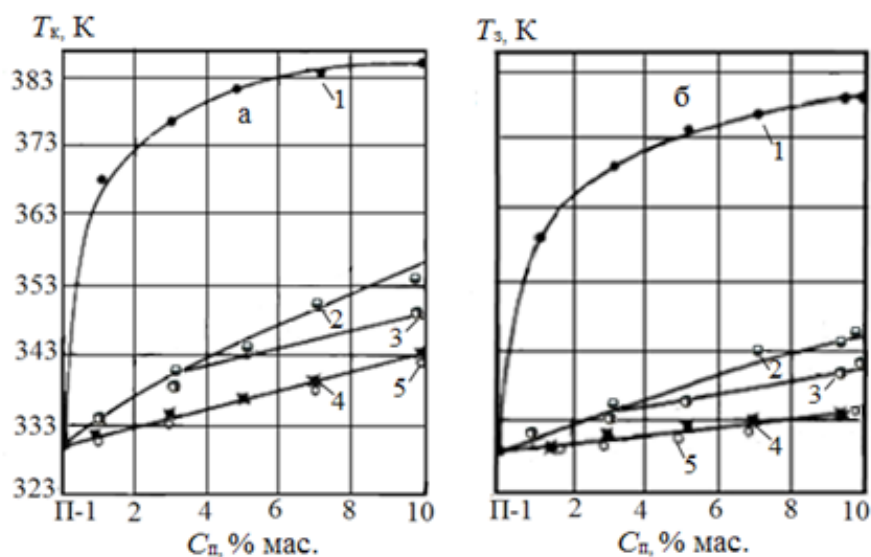
дородах. ВА-группы значительно уменьшают кристалличность СЭВ. При содержании ВА 9÷14% СЭВ подобен ПЭВД, но отличается большей эластичностью и пониженной температурой плавления. *Атактический полипропилен* (АПП) – побочный продукт полимеризации пропилена и имеет стереонерегулярную структуру (нерегулярное расположение радикальных R-групп выше и ниже плоскости основной цепи). Это аморфное вещество, обладает низкими прочностными и повышенными адгезионными свойствами. Использованный АПП Томского производства (ТУ6-05-194-80) – гранулированный. Температура размягчения (ТУ 6-05-194-80) – 413 К, плавления – 423 К, каплепадения (ГОСТ 6793-74) – 433 К. Плотность – 850 кг/м<sup>3</sup>. Вязкость расплава АПП при 453 К составляет 0,5÷5,0 Па·с. Он хорошо совмещается с парафином в расплавленном состоянии.

*Полиэтилен низкого давления* (ПЭНД) получают полимеризацией этилена ( $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ )<sub>n</sub> со специальными катализаторными системами при давлении до 20 атм. Линейные макромолекулы ПЭНД имеют минимум коротких боковых цепей. В эксперименте применялся полиэтилен базовой марки 273 Буденновского химического комбината. Применение ПЭНД связано с его эксплуатационными свойствами и техническими характеристиками: хорошая совместимость с парафином, плотность – 950 кг/м<sup>3</sup>, температура плавления 427 К, молярная масса 4250 г/моль.

**Результаты экспериментального исследования температур фазовых превращений полимерно-парафиновых композиций.** Для сравнительной оценки температурных показателей качества полимерно-парафиновых сплавов исследовали температуры начала кристаллизации ( $T_k$ ), застывания ( $T_3$ ) и фазового гексагонально-ромбического (H→R) перехода в твердом состоянии ( $T_{H→R}$ ). Величина температуры застывания  $T_3$  практически совпадала с температурой плавления по Жукову  $T_s$  ( $T_s = T_3$ ). Изучены зависимости температур фазовых превращений сплавов парафинов П-1 с полиэтиленовыми восками (ПВ-1000, П-800, ПВ-25) от их состава в пределах от 0 до 100%. На рис.

3 а,б даны зависимости температур начала кристаллизации ( $T_k$ , К) и застывания ( $T_3$ , К) сплавов парафина П-1 с полимерами ПЭНД, ПВ-300, СЭВ (11% ВА), СЭВ (28% ВА), АПП от содержания последних ( $C_n$ ). На рис. 4 приведены в качестве примера графические зависимости температур фазовых превращений ( $T$ , К) полимерно-парафиновых сплавов (а – ПВ-300; б – СЭВ (11% ВА); в – АПП) от концентрации полимеров ( $C_n$ ). При этом реальные экспериментальные точки фиксируют фазовые переходы для парафинов в смеси с полимерами по данным комплексного термографического и дилатометрического анализа. Для уточнения полиморфных фазовых превращений парафина и полимеров в твердом состоянии нами применялся терморентгенографический фазовый анализ. Работа проводилась на кафедре кристаллографии Ленинградского госуниверситета на дифрактометрах ДРОН-1, ДРОН-2 и ДРОН-3, оснащенных высокотемпературной приставкой КРВ-1100. Полученные результаты (рис. 3 и 4) показали, что исследованные полимерные модификаторы дисперсной структуры парафина П-1 располагаются в следующий ряд по порядку возрастания их растворимости в парафине: ПЭНД, полиэтиленовые воски термической деструкции (ПВ-1000, П-800, ПВ-25), полиэтиленовые воски полимерного производства ПВ ГХЗ, ПВ-300) СЭВ с 11% ВА, СЭВ с 28% ВА, АПП, СЭВ с 40% ВА.

При этом модификаторы, по температуре плавления превосходящие твердый нефтяной пищевой парафин П-1, повышают, как и следовало ожидать, температуру плавления сплавов. Наибольший рост температур  $T_k$  и  $T_3$  был отмечен при 10%-х добавках наиболее высокоплавкого полиэтилена ПЭНД (кривые 1 на рис. 3а, б). С увеличением в СЭВ концентрации винилацетатных групп (ВА) от 11 до 40 мас.% улучшается растворимость этого сополимера в парафине П-1. Данный вывод был подтвержден нами при исследовании его сплавов с синтетическим парафином  $n\text{-C}_{24}\text{H}_{50}$ . Исследования температур фазовых переходов были проведены со сплавами синтетического тетракозана  $n\text{-C}_{24}\text{H}_{50}$  с ПВ-300, СЭВ (11% ВА), СЭВ (28% ВА) и СЭВ (40-44% ВА) до 25% мас. этих по-



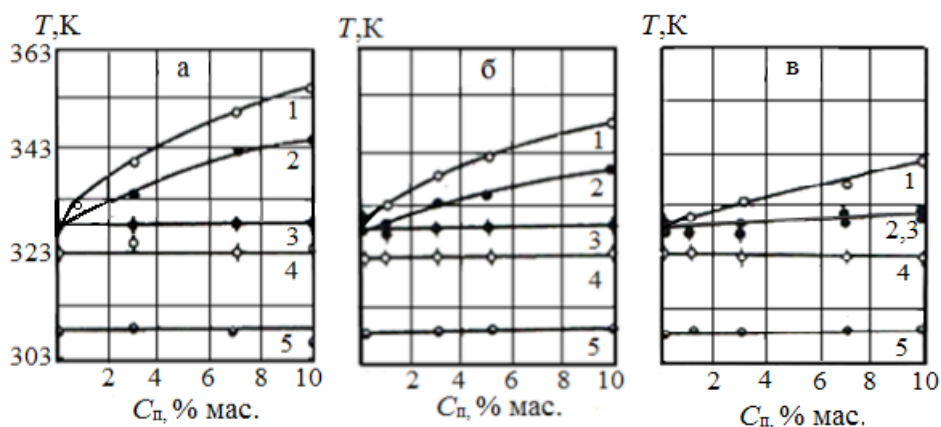
**Рис. 3.** Зависимость температур начала кристаллизации ( $T_k$ , К) и застывания ( $T_s$ , К) сплавов парафина П-1 с полимерами (П) от их содержания ( $C_p$ ): 1 – ПЭНД, 2 – ПВ-300, 3 – СЭВ (11% ВА), 4 – СЭВ (28% ВА), 5 – АПП

лимерных добавок. Исследования показали дробную кристаллизацию н. алкана и полимеров. Температура фазового превращения в твердом состоянии  $T_{\alpha \rightarrow \beta}$  н- $C_{24}H_{50}$  практически не изменялась при структурообразовании расплавов тетракозана с полимерами независимо от их содержания.

Разница между температурами  $T_{кк}$  и  $T_k$  для ПВ-25, ПВ-800 и ПВ-1000 составляла 5,0, 2,0 и 1,0 град. соответственно. Это свидетельствует о спонтанной массовой кристаллизации более высокомолекулярных ПВ, сопровождающейся пространственным дисперсным структурообразованием данных систем. Наиболее значительно (2,7 град/%; 2,8 град/%; 3,9 град/%) повышение  $T_k$  сплавов парафина П-1 с ПВ-25, ПВ-800 и ПВ-1000 соответственно происходит при прибавлении ПВ к парафину до 10% мас. Начиная с 30%-х сплавов они наиболее медленно (на 0,10 град/%) и пропорционально практически одинаково для всех ПВ увеличивают  $T_k$ . Разница между  $T_{кк}$  и  $T_k$  ПВ 10%-х их сплавов с П-1 составляла для ПВ-25, ПВ-800 и ПВ-1000 соответственно 8, 5 и 4 град. Для сплавов с 30% всех исследованных ПВ и выше до 100% разница между  $T_{кк}$  и  $T_k$  составляет 2 град. Сплавы парафина с 10%-м содержанием полимерных модификаторов отличаются более значительной величиной ин-

тервала температур от начала кристаллизации до застывания (6-10 град) рис. 3 (а-б). В случае добавок ПВ-300, АПП и СЭВ с 11% ВА пространственное структурообразование (застывание) этих сравнительно мало концентрированных (10%-х) полимерно-парафиновых композиций происходит лишь при температуре кристаллизации самого парафина (рис. 4). Температуры конца кристаллизации  $T_{кк}$  таких сплавов и их размягчение  $T_p$  совпадают с  $T_{кк}$  парафина П-1 и равны  $\approx 323$ К (рис. 4). По сравнению с парафино-церезиновыми смесями [5], смеси парафинов с полимерами имеют зависимость  $T_s$  от состава более сложную. Так с увеличением содержания более высокомолекулярного высокоплавкого компонента величина  $T_s$  смеси закономерно возрастает, а степень повышения  $T_s$  при этом уменьшается. Наибольший рост температуры плавления имеет место при добавке высокоплавкого ПЭНД, и более эффективно до 1,0 мас.% (кривые 1 на рис. 3 а-б).

*Фазовые превращения в твёрдом состоянии.* Как показали dilatометрические исследования и ДТА, подтвержденные терморентгенографией, для сплавов парафина с полимерами при их охлаждении характерна дробная кристаллизация сначала высокоплавкого полимера в  $R$  ( $\beta$ ) сингонии, а затем парафина в свой-



**Рис. 4.** Зависимость температур фазовых превращений ( $T$ , К) полимерно-парафиновых сплавов от концентрации полимеров ( $C_{п}$ ): **а** – ПВ-300; **б** – СЭВ (11% ВА); **в** – АПП; 1 –  $T$  начала кристаллизации полимера, 2 –  $T$  застывания полимерно-парафинового сплава, 3 –  $T$  начала кристаллизации парафина П-1, 4 –  $T$  конца кристаллизации П-1, 5 –  $T$  ( $\alpha \rightarrow \beta$ )  $H \rightarrow R$  – превращения П-1

ственных ему при соответствующих температурах  $H$  ( $\alpha$ ), а затем  $R$  ( $\beta$ ) – сингониях (рис. 4).

Твёрдый парафин кристаллизуется сначала в гексагональной  $H$  ( $\alpha$ ), а затем в ромбической  $R$  ( $\beta$ ) – фазе, полимеры – только в  $R$  ( $\beta$ ) – сингонии. Температура модификационного фазового  $H \rightarrow R$ -перехода парафина П-1 в твёрдых сплавах его с полимерами независимо от их количественного соотношения остаётся практически одинаковой  $308 \div 310$ К, характерной для самого П-1 (кривые 5 на рис. 4). Бинарные смеси парафина (П-1) с полимерами (П) в твёрдом состоянии при комнатных условиях (293К) представляют собой гетерогенные системы, состоящие из двух кристаллических фаз в  $R$ -сингонии соответственно. При этом возможно ограниченное растворение низкомолекулярной части  $n$ -алканов полимеров в парафине, что способствует небольшому увеличению параметра  $C$  кристаллической решётки парафина, модифицированного полимерами. Так, в сплавах П-1 + 20% ПВ (ПВ-25, ПВ-800 и ПВ-1000); П-1 + 10% АПП; П-1 + 10% СЭВ (28% ВА) гексагональная фаза модифицированного парафина характеризуется небольшим увеличением  $T_k$  и  $T_{кк}$  по сравнению с чистым П-1. Следует отметить, что 10%-е добавки ПВ-300 и СЭВ (11% ВА) к парафину П-1 не повлияли на  $T_k$  и  $T_{кк}$  чистого П-1 (кривые 3 и 4 рис. 4 а, б). При кристаллизации П-1 образует сначала изоморфную гексагональную  $H$ -фа-

зу, а затем с понижением температуры до 309 К кристаллы парафина П-1 претерпевают гексагонально-ромбическое  $H \rightarrow R$  превращение. Величина  $T = 309$ К  $H \rightarrow R$  -превращения П-1 оставалась практически неизменной при фазовых превращениях исследованных полимерно-парафиновых сплавов с различной концентрацией полимеров ( $C_{п}$ ). Полученные данные подтверждают практическое отсутствие в изученных случаях влияния полимеров на процесс полиморфного гексагонально-ромбического превращения парафина П-1. Это связано с тем, что при значительном различии в длине цепей  $n$ -алканов бинарных полимерно-парафиновых смесей условие наиболее плотной упаковки молекул обеспечивается при отдельной (дробной) их кристаллизации. При этом образуются две самостоятельные фазы твёрдого парафина П-1 и полимерных соединений. Результаты дифрактометрического исследования показали наличие ромбической  $R$ -сингонии их кристаллов при комнатных температурах (293 К). В процессе нагрева полимеры не переходили в гексагональную модификацию, сохраняя ромбическую вплоть до начала плавления.

Итак, температурные условия, при которых находятся парафино-полимерные композиции, являются основным фактором их полиморфного фазового состояния. Полученная нами сравнительная характеристика темпера-

тур фазовых превращений исследованных полимерно-парафиновых смесей при их охлаждении до 293 К позволяет научно обосновать целенаправленный выбор их для различных отраслей народного хозяйства.

### Выводы

1. Построены графические зависимости температур начала ( $T_K$ ) конца кристаллизации ( $T_{KK}$ ) и фазовых гексагонально-ромбических  $H \rightarrow R$  превращений в твёрдом состоянии ( $T_{H \rightarrow R}$ ) от состава композиций нефтяного парафина П-1 с полимерными модификаторами.

2. При компаундировании парафина П-1 с высокомолекулярными продуктами вызывает повышение величины температуры плавления  $T_s$  композиции, при этом степень повышения

зависит от показателя  $T_s$  вводимого полимерного вещества.

3. Показано, что полимерно-парафиновые композиции характеризуются отдельной кристаллизацией сначала высокоплавкого полимерного, а затем низкоплавкого парафинового компонента в свойственных им при данных температурах  $R$ - или  $H$ -сингониях.

4. Твёрдый парафин П-1 кристаллизуется сначала в  $H$ , а затем в  $R$ -фазе. Величина  $T_{H \rightarrow R}$  парафина П-1 309 К практически не изменяется при добавлении в него 10% масс. полимерных систем.

5. Бинарные сплавы парафина П-1 с полимерными продуктами при температуре 293 К состоят из двух фаз ромбической  $R$ -сингонии и являются гетерогенными системами.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов И. Г. Влияние полимерных добавок на прочностные свойства парафинов, церезинов и их смесей // Нефтепереработка и нефтехимия. 1981. С. 21-23.
2. Анисимов И. Г., Митрофанов М. Г., Маликова А. В. О некоторых физико-механических показателях парафинов, церезинов, микрокристаллических восков и их сплавов // Производство и применение нефтяных церезинов и восков. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. (Волгоград, 1970 г.). С. 44-59.
3. Зайцева Т. М. Влияние добавок полимеров на свойства парафина и церезина / Т. М. Зайцева, И. П. Лукашевич, Т. И. Сочевко, Б. П. Карпинин // Труды института нефтехимической и газовой промышленности им. И. М. Губкина. М., 1979. Вып. 48. С. 118-121.
4. Богданов Н. Ф., Парфёнова Л. А. Влияние полимерных добавок на свойства парафинов // Химия и технология топлив и масел. 1976. №1. С. 7-10.
5. Александрова Э. А., Красавцев Б. Е. Исследование структурно-механических свойств парафинсодержащих нефтепродуктов // Химия и технология топлив и масел. 2014. №2. С. 38-42.
6. Абубакарова А. С. Исследование температур фазовых превращений парафина П-1 и его фракций / А. С. Абубакарова, Ж. Т. Хадисова, Э. А. Александрова, Б. Е. Красавцев, А. С. Цатурян // Химия и технология топлив и масел. 2013. №4. С. 30-33.
7. Хадисова Ж. Т., Александрова Э. А., Наумова Г. М. Групповой состав и свойства фракций нефтяного // Химия и технология топлив и масел. 2005. №1 (527). С. 47-48.
8. Кочан З. А. Применение микрокристаллических восков для облагораживания бумаги и картона. М.: Химия, 1967. 31 с.
9. Ахмадова Х. Х. Основные способы модификации битумов различными добавками / Х. Х. Ахмадова, Ж. Т. Хадисова, Л. Ш. Махмудова, З. А. Абдулмежидова, М. А. Мусаева // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2019. Т. 15. №3 (17). С. 42-56.
10. Нехорошев В. П. Особенности строения АПП / В. П. Нехорошев, Е. А. Попов, А. В. Нехорошева, С. В. Рубанс // Пласт. массы. №12. 2005. С. 6-9.
11. Пат. 2155480 Российская Федерация, МПК А01N3/04. Влагозащитное парафиновое покрытие плодовых и виноградных черенков / Александрова Э. А., Дорошенко Т. Н., Гергаулова Р. М. опублик. 10.09.2000.
12. Семёнова Т. Г., Поплавская А. В., Лисицына Н. С. Парафиновые композиции с полиэтиленом // Нефтепереработка и нефтехимия. 1968. №8. С. 15-18.



## TEMPERATURES OF PHASE TRANSFORMATIONS OF PARAFFIN-POLYMER COMPOSITIONS

© E. A. Alexandrova<sup>1</sup>, Z. T. Khadisova<sup>2,3</sup>, B. L. Alexandrov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> KSAU, Krasnodar, Russia

<sup>2</sup> GSTOU, Grosny, Russia

<sup>3</sup> CSU named after A. A. Kadyrov, Grozny, Russia

The temperatures of phase transformations of paraffin-polymer compositions are investigated by differential thermal (DTA) and dilatometric methods with programmable cooling rate and auto-matic recording of the curves "temperature-time  $T - \tau$ ", DTA and "volume  $V - \tau$ ". Graphical depend-ences of the temperatures of the beginning ( $T_c$ ), the end of crystallization ( $T_c$ ) and phase hexagonal-rhombic H→R transformations in the solid state ( $T_n \rightarrow R$ ) of petroleum food paraffin P-1 on the content of polymer modifiers (low-pressure polyethylene (HDPE), polyethylene waxes (PV), atactic polypropylene (APP) are constructed and ethylene copolymers with vinyl acetate (CMEA). It is shown that P-1 crystallizes first in the H, and then in the R-phase.

**Keywords:** food paraffin, polymers, compositions, temperatures of phase transformations

### REFERENCES

1. Anisimov, I. G. (1981). 'Influence of polymer additives on the strength properties of paraffins, ceresins and their mixtures'. *Neftepererabotka i petrokimiya*, pp. 21-23.
2. Anisimov, I. G., Mitrofanov, M. G. and Malikova, A. V. (1970). 'On some physical and mechanical properties of paraffins, ceresins, microcrystalline waxes and their alloys. Production and use of petroleum ceresins and waxes'. *Materials of the All-Russian scientific-practical conference*. (Volgograd, 1970) pp. 44-59.
3. Zaitseva, T. M., Lukashevich I. P., Sochevko T. I. and Kartinin B. P. (1979). 'Influence of polymer additives on the properties of paraffin and ceresin'. *Proceedings of the Institute of Petrochemical and Gas Industry. I. M. Gubkin*. Issue. 48, Moscow, pp. 118-121.
4. Bogdanov, N. F. and Parfenova, L. A. (1976) 'Influence of polymer additives on the properties of paraffins'. *Chemistry and technology of fuels and oils*. № 1. Pp. 7-10.
5. Abubakarova, A. S., Khadisova, Zh. T., Aleksandrova, E. A. and Krasavtsev, B. E. (2014). 'Study of the structural and mechanical properties of paraffin-containing petroleum products'. *Chemistry and technology of fuels and oils*. № 2. Pp. 38-42.
6. Abubakarova A. S., Khadisova Zh. T., Aleksandrova E. A., Krasavtsev B. E. and Tsaturyan, A. S. (2013). *Chemistry and technology of fuels and oils*. № 4. Pp. 30-33.
7. Khadisova Zh. T., Aleksandrova E. A. and Naumova G. M. (2005). 'Group composition and properties of petroleum paraffin fractions'. *Chemistry and technology of fuels and oils*. № 1 (527). Pp. 47-48.
8. Kochan, Z. A. (1967). *The use of microcrystalline waxes for refining paper and cardboard*. Chemistry, Moscow, 31 p.
9. Akhmadova Kh. Kh., Khadisova Zh. T., Makhmudova L. Sh., Abdulmezhidova Z. A. and Musaeva M. A. (2019). *The main methods of bitumen modification with various additives*. Herald of GSTOU. Technical sciences. V. 15. № 3 (17), pp. 42-56.
10. Nekhoroshev V. P., Popov E. A., Nekhorosheva A. V., and Rubans S. V. (2005). *Plastic masses*. № 12, pp. 6-9.
11. Alexandrova, E. A., Doroshenko, T. N. and Gergaulova R. M. *Moisture protective paraffin coating of fruit and grape cuttings*, publ. 09/10/2000. Russian Federation, IPC A01N3/04, Pat. 2155480
12. Semyonova, T. G. Poplavskaya, A. V. and Lisitsyna, N. S. (1968). 'Paraffin compositions with polyethylene' *Oil refining and petrochemistry*. № 8. From 15-18.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОДВЕРГНУТЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ КИСЛОЙ СРЕДЫ

© А. Ю. Вербицкий, А. Е. Хаджиди, И. В. Ариничева  
КГАУ им. И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия

Рост индустриализации в мире предъявляет особые требования к изготовлению строительных материалов и конструкций. Стоимость готовых строительных изделий и материалов напрямую зависит от качества и доступности всех компонентов, необходимых для их изготовления. В настоящее время российский рынок испытывает дефицит в качественных и недорогих материалах, изделиях и технологиях в строительной отрасли. Поэтому целью наших исследований является сравнение влияния выбранных эксплуатационных факторов на механические свойства эпоксидных клеевых составов, выдержанных в двух жидких средах для получения их количественных и качественных характеристик. Были протестированы две различные водные среды: водопроводная вода и водный раствор уксусной кислоты 9%. Образцы двух различных клеевых составов были приготовлены с использованием эпоксидной смолы и триэтилентетраминового отвердителя. Одно из соединений было модифицировано карбонатом кальция. Образцы выдерживались в двух различных водных средах в течение трех месяцев, одного месяца и одной недели соответственно. Механические свойства образцов отвержденного клеевого состава определяли посредством испытаний на прочность на испытательной машине в соответствии с действующими российскими нормами. Цель экспериментов состояла в том, чтобы определить влияние различных жидких сред на выбранные механические свойства (включая прочность) изготовленных клеевых составов.

**Ключевые слова:** эпоксидные клеевые составы; старение; морская вода; механические свойства.

**Формат цитирования:** Вербицкий А.Ю., Хаджиди А.Е., Ариничева И.В. Исследование механических свойств эпоксидных соединений, подвергнутых воздействию кислой среды // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIV, № 1 (31). С. 49-57. DOI: 10.34708/GSTOU.2023.62.69.005

### Введение

Свойства материалов имеют решающее значение в строительстве. Они играют основополагающую роль при выборе элементов для различных типов инженерных конструкций. Эти компоненты должны обладать высокой устойчивостью к различным средам, в которых они будут использоваться [1, 2]. По этой причине исследователи анализируют все возможные решения, прежде чем внедрить что-то совершенно новое [3, 4].

С каждым годом объем мирового производства и потребления всех видов полимеров возрастает. Среди полимеров достаточно широко применяются термореактивные полимеры, например – эпоксидные смолы [5]. Эпоксидные смолы впервые были синтезированы более 50 лет назад, но по-прежнему являются одними из важнейших видов синтетических смол, благодаря ценным технологическим и эксплуатационным свойствам и разнообразию обла-

стей применения материалов на их основе [6, 7]. Клеевые составы на основе эпоксидных смол применяются не только для изготовления элементов, но и для их соединения [8].

Эти соединения применяются во многих отраслях промышленности, например, в гидротехническом строительстве, для покрытия, ламинирования, гидроизоляции, склеивания конструкций. Эпоксидные компаунды обладают хорошими механическими свойствами, высокой устойчивостью к повышенным температурам, а некоторые из них еще и огнеупорны. В жидком виде их можно использовать для соединения элементов из разных материалов. Однако при отверждении эти материалы образуют прочные, устойчивые структуры с низким удельным весом, проявляющие различные свойства в различных средах, в том числе в воде.

Как уже было сказано, эпоксидные клеи и покрытия, применяемые в гидротехниче-

ской инженерии, часто подвергаются воздействию воды, т.е. среды, влияющей на срок службы инженерных сооружений. Различные аспекты влияния воды на прочность клеевых соединений и клеев анализировались разными авторами. Фернадес и др. охарактеризовали зону разрушения коммерческого эпоксидного клея, используемого в автомобильной промышленности, в зависимости от содержания воды в клее. Соленая вода и дистиллированная среда использовались в качестве среды старения образцов. Бордес и др. исследовали долговременное поведение склеенных стальных соединений с двойным нахлестом, подвергающихся старению в воде, и ухудшение механических свойств эпоксидного клея. Старение тиксотропного клея проводилось в деионизированной воде, соли и морской воде при трех температурах: 20, 40 и 60 °С. В работе авторы представили влияние циклических условий влажного-сухого, замораживания-оттаивания и комбинированных условий увлажнения и замораживания-оттаивания (дистиллированная вода и соленая вода в сочетании с замораживанием-оттаиванием в течение 125 и 250 циклов) на механическое поведение связанного композитного соединения. Результаты показали, среди прочего, что пластичность клея снижается после его высыхания.

Целью данной работы было определение влияния водопроводной воды и кислой среды на стойкость двух типов эпоксидных соединений на основе эпоксидной смолы (бисфенола А) с учетом различных периодов эксплуатации. Исследовано влияние одного из вариантов воздействия, которым была кислая среда в виде водного раствора уксусной кислоты, на механические свойства двух эпоксидных соединений: модифицированного порошком карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) и немодифицированного.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

1. Выбор и исследование свойств компонентов и оценка их влияния на структурообразование, структуру и свойства эпоксидных композиций;

2. Определение взаимодействия компонентов в составе композиции;

3. Комплексная оценка свойств наполнителей и модифицирующих добавок и исследование их влияния на параметры кинетики отверждения и физико-химические и физико-механические свойства эпоксидного полимера;

4. Выбор эффективного метода совмещения компонентов эпоксидной композиции.

Достоверность и обоснованность подтверждается экспериментальными данными, полученными с применением комплекса независимых и взаимодополняющих методов исследования и не противоречием полученных научных положений основам физикохимии полимеров и композитов [7].

Практическая значимость заключается в разработке эпоксидных составов, применяемых для изготовления деталей и изделий, отвечающих требованиям многих отраслей промышленности, в частности, выполнения гидроизоляции помещений (пол и стены подвальных помещений, бассейны) и связующих для разнообразных композиционных материалов. Предложена технологическая схема производства эпоксидного компаунда.

## Материалы и методы

**Испытанные эпоксидные клеевые компаунды.** Были испытаны два варианта эпоксидных клеевых составов: немодифицированный и модифицированный. Немодифицированные эпоксидные клеевые составы были изготовлены из эпоксидной смолы (Epidian 53 (торговая марка), смолы CIECH), смешанной с алифатическим аминным отвердителем триэтилентетрамина (Z-1 (торговая марка), смолы CIECH), в соответствующих стехиометрических пропорциях.

Модифицированные эпоксидные клеевые соединения были получены с использованием трех ингредиентов: эпоксидной смолы (Epidian 53 (торговая марка), смолы CIECH), отвердителя триэтилентетрамина (Z-1 (торговая марка), смолы CIECH) и карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), выпускается компанией Carl Roth GmbH + Co KG, под торговой маркой E170. В таблице 1 представлены проанализированные образцы.

Таблица 1. Типы эпоксидных клеевых составов, использованных в испытаниях

Тип соединения	Эпоксидная смола	Отвердитель	Модифицирующая добавка	Количественная пропорция	Обозначение
Немодифицированная эпоксидная композиция	Epidian 53	Z-1 – аминный отвердитель (алифатический амин)	–	100: 10	Epidian 53 /Z-1
Модифицированный эпоксидный компаунд			CaCO <sub>3</sub>	100: 10: 2	Epidian 53 /Z-1/CaCO <sub>3</sub>

Таблица 2. Механические свойства отвержденной эпоксидной смолы Epidian 53

Свойства	Значения
Изгибающее напряжение при разрушении (МПа)	80-100
Разрушающее напряжение при сжатии (МПа)	70-90
Адгезионная прочность при сдвиге, отвержденного в течение 16 ч при 20-25°C, 6 ч при 80 ± 2°C (МПа), не ниже	7.84
Адгезионная прочность при сдвиге, отвержденного в течение 7 дней при 20-25°C (МПа), не ниже	5.86

**Эпоксидная смола.** Эпоксидная смола, торговое название Epidian 53, являющаяся основой эпоксидного клеевого состава, имеет светло-желтый цвет и вязкую жидкую консистенцию. Эпоксидная смола Epidian 53 представляет собой продукт реакции бисфенола-А и эпихлоргидрина. Она представляет собой продукт реакции бисфенола-А и эпихлоргидрина. Бисфенол-А и его производные состоят из двух фенольных колец, соединенных небольшой связующей группой. Это синтетическое соединение на основе углерода широко используется в различных отраслях промышленности [1]. Сообщалось, что производство этого соединения оценивается в 4,85 млн тонн [2]. С 1960-х годов бисфенол-А используется в производстве эпоксидных смол и поликарбонатных пластиков, которые являются основными составляющими товаров повседневного спроса. Данная эпоксидная смола, модифицированная стиролом со средней молекулярной массой менее 700. Время гелеобразования эпоксидной смолы Epidian 53 при температуре окружающей среды после добавления отвердителя Z1 в пропорции 1:10 составляет около 200 мин. Первоначальное отверждение происходит через 6-8 часов, тогда как полное отверждение занимает 7-14 дней. Обладает низкой вязкостью (900-1500 м·Па·с при 25 °С), средней реакционной способностью и высокими изоляционными свойствами. Плотность

этой эпоксидной смолы составляет 1,11-1,15 г/см<sup>3</sup> при 20°C, эпоксидное число 0,41. Механические свойства отвержденной эпоксидной смолы Epidian 53 приведены в таблице 2.

**Отвердитель.** Продаваемый под торговым названием Z-1, является аминным отвердителем (алифатический амин, (триэтилентетрамин)) и применяется для отверждения низкомолекулярных эпоксидных смол и клеевых составов на их основе. Отверждение эпоксидных смол отвердителем Z1 приводит к повышению эластичности и снижению ударной вязкости клеевого состава. Поэтому рекомендуется использовать этот отвердитель при выполнении швов, склонных к деформации (например, резинометаллических соединений), или для заливки электронных компонентов. Процесс отверждения начинается, когда отвердитель смешивается со смоляным компонентом. Этот момент также отмечает время гелеобразования смешанной системы смолы, т.е. жизнеспособность системы отверждения смолы. Очень важно, чтобы соотношение эпоксидной смолы и отвердителя было точным во время смешивания. Слишком высокое содержание отвердителя вызывает сильные реакции, такие как экзотермическая реакция, которая в крайних случаях может вызвать самовоспламенение соединения. Это приводит к снижению прочностных свойств отверждаемого полимера. С другой стороны, низкое содержание ами-

Таблица 3. Физические и химические свойства отвердителей Z1

Характеристики	Z1 отвердитель
Агрегатное состояние	жидкость
Цвет	светло-желтый (янтарный)
Вязкость, 25°C (МПа·с)	20-30
Плотность, 20°C (г/см <sup>3</sup> )	0.98
Аминное число (мгКОН/г)	мин. 1100

на приводит к снижению устойчивости к температуре и химическим веществам, а также к снижению диэлектрических свойств соединения. Некоторые свойства отвердителя триэтилентетрамина приведены в таблице 3.

**Модифицирующий агент – карбонат кальция.** Карбонат кальция (структурная формула:  $\text{CaCO}_3$ ) – это неорганическое химическое соединение, также известное как (IV) карбонат кальция. Это твердое вещество имеет плотность 2,93 г/см<sup>3</sup> и обычно поставляется в виде мелкого белого порошка. Он нерастворим в воде и имеет температуру плавления 825°C. Карбонат кальция обычно встречается в природе в качестве основного компонента минералов. В естественной среде он содержится в осадочных породах, которые перерабатываются в порошок, что позволяет в дальнейшем использовать карбонат кальция. Карбонат кальция также используется в качестве наполнителя для модификации эпоксидных смол. Этот неактивный наполнитель может лишь в небольшой степени изменять клеевые соединения. Добавление карбоната кальция в эпоксидную смолу вызывает помутнение соединения и относительно снижает производственные затраты на клей. Количество мо-

дификатора в клеевом компаунде (2:100) было выбрано на основании литературных данных.

**Характеристики образцов отвержденных клеевых составов.** Для испытания на прочность было изготовлено семьдесят два образца каждого типа эпоксидного компаунда (двенадцать образцов × три времени воздействия × два варианта среды). Общее количество подготовленных цилиндрических образцов составило 144: (I) образцы для испытаний на прочность и (II) образцы для микроскопических испытаний. Первые (I) были цилиндрической формы и изготовлены на 10 мл-формах. На рисунке 1 показан реальный вид образцов клеевого состава.

Прочностные параметры используемой эпоксидной смолы с добавлением отвердителя триэтилентетрамина после отверждения в течение семи дней при температуре окружающей среды представлены в таблице 4.

Испытуемые образцы были изготовлены методом литья с использованием цилиндрических форм объемом 10 мл. После их приготовления эпоксидные соединения (как немодифицированные, так и модифицированные) заливали в формы, покрытые изнутри силиконовым спреем (Polsiform), для легкого уда-



Рис. 1. Образцы клеевых составов после процесса отверждения

Таблица 4. Прочностные параметры эпоксидной смолы Epidian 53 с добавлением отвердителя Z-1 (в смеси со стехиометрическим соотношением 100:10) после отверждения в течение семи дней при температуре окружающей среды

Тестируемые параметры	Значения
Прочность при разрыве, МПа	40-60
Изгибающее напряжение при разрушении, МПа	80-100
Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	70-90

ления. Антиадгезионное средство наносили распылением с расстояния 100 мм в течение 1 минуты. Образцы оставляли для отверждения (одностадийного) в течение 7 дней при температуре окружающей среды  $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  и влажности  $23\% \pm 6\%$ .

Образцы обрабатывались шлифованием и фрезерованием для придания им однородности по длине и гладкости поверхности. Готовые образцы (рисунок 1) имели среднюю длину  $40 \pm 0,3$  мм и средний диаметр  $15 \pm 0,1$  мм. Далее образцы были помечены номерами и разделены на партии по 24 штуки в каждой. Каждая партия содержала 12 образцов немодифицированного эпоксидного компаунда (Epidian 53/Z-1) и 12 образцов модифицированного (Epidian 53/Z-1/ $\text{CaCO}_3$ ) (рисунок 1). Всего для исследования было приготовлено 144 цилиндрических образца, 72 из этих образцов были изготовлены из Epidian 53/Z-1, а остальные 72 из них – из Epidian 53/Z-1/ $\text{CaCO}_3$ . Кроме того, в общей сложности было изготовлено по 16 образцов для каждого варианта эпоксидных составов для последующих микроскопических анализов, из которых 15 образцов были подвергнуты испытанию, а один оставлен в качестве эталонного образца.

Образцы подвергались воздействию различных условий эксплуатации в течение трех

различных периодов выдержки, показанных в таблице 5.

Образцы эпоксидного компаунда (модифицированного и немодифицированного), подвергались воздействию факторов окружающей среды (конкретной среды и времени выдержки – таблица 5). Неповрежденные образцы не подвергались воздействию каких-либо эксплуатационных факторов. Условия хранения таких образцов были такими же, как и для процесса отверждения. Благодаря этому можно было сравнить влияние времени и условий эксплуатации на прочность эпоксидных компаундов.

Рабочие среды, представленные в таблице 5, были подготовлены и помещены в стеклянные сосуды. Образцы эпоксидных композиций были погружены в эти среды таким образом, чтобы водные растворы полностью покрывали их. Преобладающие условия окружающей среды, в которые были погружены стеклянные контейнеры с образцами, были следующими: температура  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  и относительная влажность воздуха  $25 \pm 2\%$ . Измерения pH водной среды проводились с использованием pH-индикаторов (индикаторные бумаги pH 0-12, Stanlab). Водопроводная вода показала pH, равный 7, а вторая среда показала значения: K9% pH = 3. Водопроводная вода, используемая в экспериментах, была бикарбонатно-кальци-

Таблица 5. Условия эксплуатации и время эксплуатации образцов соединений: немодифицированных (Epidian 53/Z-1) и модифицированных (Epidian 53/Z-1/ $\text{CaCO}_3$ ) вместе с их обозначениями.

Среда	Время	Обозначение
Водопроводная вода (ВВ)	1 неделя	ВВ/1 нед.
	1 месяц	ВВ/1 мес.
	3 месяца	ВВ/3 мес.
Водный раствор уксусной кислоты 9% (K9%)	1 неделя	K9%/1 нед.
	1 месяц	K9%/1 мес.
	3 месяца	K9%/3 мес.

Таблица 6. Отдельные физико-химические параметры водопроводной воды

Параметр	Единица измерения	Значение
Хлориды	мг/л	29,4
Фториды	мг/л	<0,4
Магний	мг/л	23,0
Сульфаты	мг/л	36,4
Натрий	мг/л	9,2
Железо	мкг/л	46
Кальций	мг/л	98
Жесткость	мвал/л	381

ево-магниево-й, и ее характеристики представлены в таблице 6. Содержание карбоната кальция составило 381 мг/л. После предполагаемого времени выдержки в кислой среде (таблица 5) образцы эпоксидного соединения были кондиционированы перед дальнейшими испытаниями. Время кондиционирования 48 ч, температура  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , относительная влажность  $25 \pm 2\%$ . После кондиционирования эпоксидных компаундов образцы подвергали испытаниям на прочность, а также испытаниям под микроскопом.

Испытания образцов эпоксидных компаундов на сжатие проводились в соответствии с российскими нормами на испытательной машине. Параметры, используемые при испытаниях образцов эпоксидного компаунда на прочность, были следующими: начальное усилие 10 Н, скорость модуля сжатия 2 мм/мин, скорость крейцкопфа (ползуна) 10 мм/мин, точка отсечения усилия 80% Fmax и максимальное укорочение блока 10%. В ходе каждого цикла

испытаний на прочность было испытано шесть образцов.

Микроскопические тесты проводились с использованием микроскопа. Основной целью микроскопических испытаний было наблюдение за поверхностью образцов с целью определения признаков влияния условий эксплуатации, времени воздействия и предполагаемой неоднородности материала (например, трещин или пузырьков воздуха).

### Результаты и обсуждение

Результаты компрессионных испытаний образцов из немодифицированного эпоксидного компаунда (Epidian 53/Z-1), выдержанного в двух водных средах (таблица 5) за следующие периоды времени: одна неделя (1 нед), один месяц (1 мес.), и три месяца (3 мес.), представлены на рисунке 2. Результаты испытаний на сжатие контрольных образцов (не подвергавшихся воздействию условий эксплуатации) немодифицированного

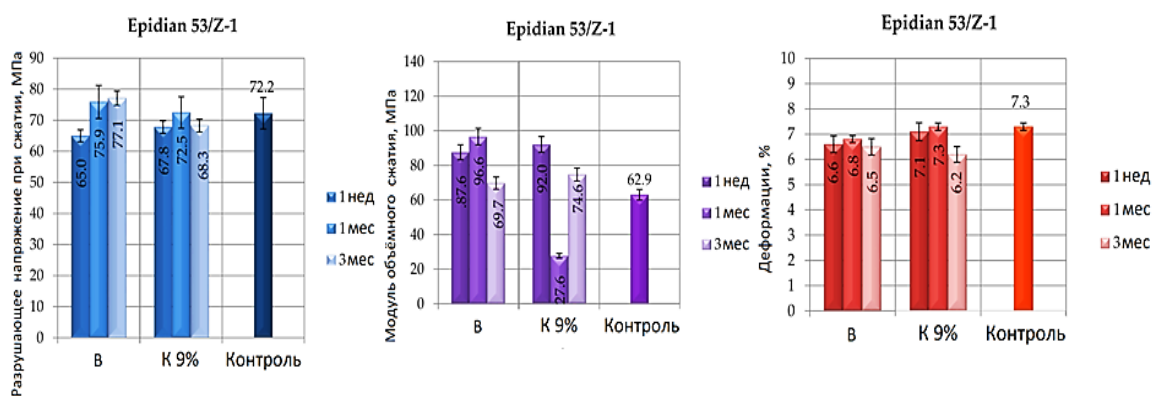


Рис. 2. Результаты компрессионных испытаний на сжатие немодифицированного эпоксидного соединения (Epidian 53/Z-1), выдержанного в двух водных средах в течение следующих периодов времени: одна неделя, один месяц и три месяца: (СИНИЙ) Разрушающее напряжение при сжатии, Мпа (ФИОЛЕТОВЫЙ) объёмный модуль упругости, Мпа (ОРАНЖЕВЫЙ) деформация при сжатии, %

эпоксидного компаунда также представлены на рисунке 2, вид образцов после испытаний представлен на рисунке 3.

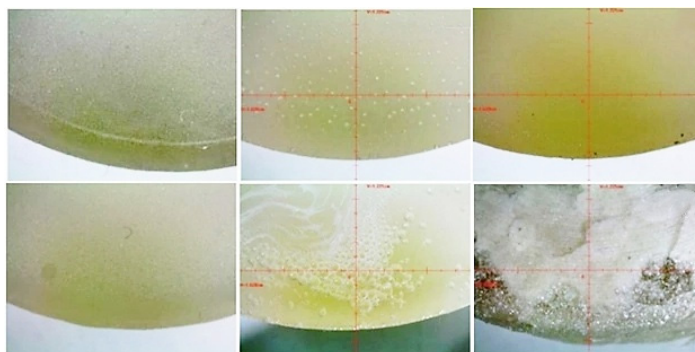
Микроскопические испытания выявили развитие микроструктуры тестируемых эпоксидных соединений, структурные изменения и дефекты, которые не различимы невооруженным глазом. Микроскопические тестовые изображения, полученные на образцах немодифицированного эпоксидного компаунда, выдержанного в условиях эксплуатации, представлены на рисунке 4.

Суммируя результаты испытаний на прочность и микроскопии, можно увидеть, что: Механические свойства исследованных эпоксидных клеевых составов зависят от типа клея, времени старения и испытательной среды. Наибольший объемный модуль упругости у образцов Epidian 53/Z-1/CaCO<sub>3</sub>, выдержанных в течение трех месяцев в среде, К9; Образцы Epidian 53/Z-1 имеют наибольшее значение сжатия после месячной выдержки в растворе

К9. В большинстве случаев образцы Epidian 53/Z-1, выдержанные в растворе К9 в течение месяца, имеют более высокие значения объемного модуля упругости. Объемный модуль упругости эталонных образцов Epidian 53/Z-1/CaCO<sub>3</sub> на 43% выше, чем у немодифицированного клеевого состава. Наибольшая прочность на сжатие была получена для образцов Epidian 53/Z-1/CaCO<sub>3</sub>, выдержанных в течение трех месяцев в растворе К9. Образцы Epidian 53/Z-1, выдержанные в течение трех месяцев в растворе К9, обладают наибольшей прочностью на сжатие. Контрольные образцы обоих эпоксидных клеев имеют практически одинаковую прочность на сжатие. Наибольшие деформации при сжатии были получены у образцов Epidian 53/Z-1/CaCO<sub>3</sub>, выдержанных в течение трех месяцев в растворе К9. Наибольшее значение деформации сжатия получено для образцов Epidian 53/Z-1, выдержанных в водопроводной воде в течение трех месяцев. Наибольшие деформации сжатия были полу-



**Рис. 3.** Визуальный анализ формы образцов, выдержанных при температуре окружающей среды



**Рис. 4.** Микроскопические изображения немодифицированного эпоксидного компаунда, выдержанного в условиях эксплуатации (10-кратное увеличение)



чены для образцов Epidian 53/Z-1, выдержанных в течение трех месяцев и одной недели. Образцы Epidian 53/Z-1/CaCO<sub>3</sub> со старением в течение одной недели имеют более высокую деформацию сжатия. Деформация сжатия эталонных образцов Epidian 53/Z-1 всего на 13% выше, чем у образцов Epidian 53/Z-1/CaCO<sub>3</sub>. Микроскопическое исследование показало, что больше изменений претерпевают образцы, выдержанные в растворе K9 в течение трех месяцев.

### Выводы

Существенного влияния времени выдержки в выбранных рабочих средах на прочность эпоксидных соединений при компрессионных испытаниях не наблюдалось.

Контрольные образцы (не подвергавшиеся воздействию какой-либо водной среды) немодифицированного эпоксидного компаунда имели незначительно повышенные механические характеристики, чем не выдержанные образцы модифицированного эпоксидного компаунда.

В случае модифицированного состава было отмечено, что образцы, погруженные в водопроводную воду, характеризовались более высокой прочностью, чем в кислой среде. Аналогичная тенденция наблюдалась для немодифицированных композиций, хотя разли-

чия были меньше, чем для модифицированных композиций.

Увеличение pH кислого раствора во многих проанализированных случаях способствовало снижению (в незначительной степени) механических свойств, также имеет значение период времени погружения в кислый раствор.

Можно предположить, что при эксплуатации в кислой среде между модификатором и водным раствором уксусной кислоты в эпоксидном соединении, модифицированном CaCO<sub>3</sub>, запускается требующая установления химическая реакция.

Полученные результаты свидетельствуют о повышении прочностных свойств образцов, выдержанных в воде с низким содержанием оксиданта. Исследование показало, что слишком высокое содержание оксиданта в воде отрицательно влияет на механические свойства испытываемых клеевых составов. Подводя итог, можно констатировать, что на механические свойства эпоксидных клеевых компаундов Epidian 53/Z-1 и Epidian 53/Z-1/CaCO<sub>3</sub> влияют разные факторы. В ходе экспериментов установлено, какой из испытанных эпоксидных клеевых составов обладает наиболее высокими механическими свойствами. Клеевой состав Epidian 53/Z-1 показал лучшие результаты по большинству исследуемых показателей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Leger, R.; Roy, A.; Grandidier, J. C. A study of the impact of humid aging on the strength of industrial adhesive joints. *Int. J. Adhes. Adhes.* 2013, 44, 66-77.
2. Leger, R.; Roy, A.; Grandidier, J. C. Non-classical water diffusion in an industrial adhesive. *Int. J. Adhes. Adhes.* 2010, 30, 744-753
3. Lefebvre, D. R.; Elliker, P. R.; Takahashi, K. M.; Raju, V. R.; Kaplan, M. L. The critical humidity effect in the adhesion of epoxy to glass: Role of hydrogen bonding. *J. Adhes. Sci. Technol.* 2000, 14, 925-937
4. Viana, G.; Costa, M.; Banea, M. D.; da Silva, L. F. M. Water diffusion in double cantilever beam adhesive joints. *Latin Am. J. Solid Struct.* 2017, 14, 188-201.
5. Sugiman, S.; Crocombe, A. D.; Aschroft, I. A. Experimental and numerical investigation of the static response of environmentally aged adhesively bonded joints. *Int. J. Adhes. Adhes.* 2013, 40, 224-237.
6. Heshmati, M.; Haghani, R.; Al-Emrani, M. Effects of moisture on the long-term performance of adhesively bonded FRP/steel joints used in bridges. *Compos. B* 2016, 92, 447-462.
7. Fiore, V.; Calabrese, L.; Proverbio, E.; Galtieri, G.; Scalici, T.; Lo Presti, V. M. Pull-off adhesion of hybrid glass-steel adhesive joints in salt fog environments. *J. Adhes. Sci. Technol.* 2016, 30, 2157-2174.

8. Felsot, A. S.; Unsworth, J. B.; Linders, J.B. H. J.; Roberts, G. Agrochemical spray drift; assessment and mitigation – A review. *J. Environ. Sci. Health* 2011, 46, 1-23.

## STUDY OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF EPOXY COMPOUNDS SENSITIVE TO ACIDS IN AN ACIDIC ENVIRONMENT

© A. Yu. Verbitsky, A. E. Hadjidi, I. V. Arinicheva

*KASU named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia*

The growth of industrialization in the world places special demands on the manufacture of building materials and structures. The cost of finished building products and materials directly depends on the quality and availability of all components required for their manufacture. Currently, the Russian market is experiencing a shortage of high-quality and inexpensive materials, products and technologies in the construction industry. Therefore, the purpose of our research is to compare the influence of selected operational factors on the mechanical properties of epoxy adhesive compositions aged in two liquid media in order to obtain their quantitative and qualitative characteristics. Two different aqueous media were tested: tap water and an aqueous solution of acetic acid 9%. Samples of two different adhesive compositions were prepared using epoxy resin and triethylenetetramine hardener. One of the compounds was modified with calcium carbonate. The samples were kept in two different aqueous media for three months, one month and one week, respectively. The mechanical properties of the samples of the cured adhesive composition were determined by strength tests on a testing machine in accordance with the current Russian standards. The purpose of the experiments was to determine the effect of various liquid media on the selected mechanical properties (including strength) of the produced adhesive compositions.

**Keywords:** epoxy adhesive compositions; aging; sea water; mechanical properties

### REFERENCES

1. Leger, R.; Roy, A.; Grandidier, J. C. (2013). A study of the impact of humid aging on the strength of industrial adhesive joints. *Int. J. Adhes. Adhes.* 44, 66-77.
2. Leger, R. Roy, A. and Grandidier, J. C. Non-classical water diffusion in an industrial adhesive. *Int. J. Adhes. Adhes.* 30, pp. 744-753.
3. Lefebvre, D. R.; Elliker, P. R.; Takahashi, K. M.; Raju, V. R.; Kaplan, M. L. (2000). The critical humidity effect in the adhesion of epoxy to glass: Role of hydrogen bonding. *J. Adhes. Sci. Technol.*, 14, 925-937.
4. Viana, G.; Costa, M.; Banea, M. D.; da Silva, L.F. M. (2017). Water diffusion in double cantilever beam adhesive joints. *Latin Am. J. Solid Struct.*, 14, 188-201.
5. Sugiman, S., Crocombe, A. D. and Aschroft, I. A. (2013). Experimental and numerical investigation of the static response of environmentally aged adhesively bonded joints. *Int. J. Adhes. Adhes.* 40, 224-237.
6. Heshmati, M., Haghani, R. and Al-Emrani, M. (2016). Effects of moisture on the long-term performance of adhesively bonded FRP/steel joints used in bridges. *Compos. B* 2016, 92, 447-462.
7. Fiore, V.; Calabrese, L.; Proverbio, E.; Galtieri, G.; Scalici, T.; Lo Presti, V. M. (2016). Pull-off adhesion of hybrid glass-steel adhesive joints in salt fog environments. *J. Adhes. Sci. Technol.* 2016, 30, 2157-2174.
8. Felsot, A. S. Unsworth, J. B. Linders, J. B. H. J. and Roberts, G. (2011). Agrochemical spray drift; assessment and mitigation – A review. *J. Environ. Sci. Health.*, 46, 1-23.

## ВАЛКОВАЯ РАЗЛИВКА – ПРОКАТКА ВЫСОКОПРОЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

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

Определены технологические параметры изготовления листовой заготовки малой толщины из алюминиевых сплавов на установке двухвалкового литья-прокатки. Изучено воздействие горячей деформации и термообработки на структуру и свойства полученных заготовок и конечного металлопроката для всех этапов технологического цикла «валковая разливка – горячая прокатка – термическая обработка». Показано, что уровень механических свойств литой ленты в значительной мере зависит от изменений в ее структуре, происходящих под влиянием различных технологических факторов. Установлено, что уже при двукратном обжатии ( $\epsilon = 50\%$ ) прочностные характеристики для всех исследованных сплавов повышаются до максимального уровня. Прочность проката при дальнейшем росте величины обжатия увеличивается незначительно, однако при этом у высокопрочных сплавов (Д16 и В95) имеет место увеличение относительного удлинения. В этом заключается отличие от обычной термической обработки, когда с увеличением прочностных характеристик сплавов снижается их пластичность. Для всех изученных сплавов значения механических свойств выше соответствующих стандартных значений.

**Ключевые слова:** мягкое обжатие, литая заготовка, пластичность, механические свойства, микроструктура, сплав.

**Формат цитирования:** Нурадинов А. С., Уздиева Н. С., Ахтаев С. С.-С. Валковая разливка – прокатка высокопрочных алюминиевых сплавов // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIV, № 1 (31). С.58-66. DOI: 10.34708/GSTOU.2023.76.97.006

Тонкий металлопрокат из алюминиевых сплавов применяется в таких сферах производства, как машиностроение, приборостроение, производство летательных аппаратов, пищевая промышленность, строительство и многие другие, поэтому быстро растет потребность в этом виде металлопродукции. На сегодняшний день самым востребованным является листовой металлопрокат из высокопрочных алюминиевых сплавов. К примеру, алюминиевые сплавы системы Al-Mg-Cu, которые после упрочнения термообработкой обладают средней и высокой прочностью, а также высокопрочные алюминиевые сплавы системы Al-Zn-Mg-Cu широко используются при изготовлении ракет и авиационной техники. Эти сплавы служат основным конструкционным материалом при производстве главных силовых элементов и обшивки самолетов. Обладая высокими значениями удельной прочности при небольшой массе, алюминиевые сплавы в процессе создания различных элементов ракетной техники имеют неоспо-

римое преимущество. Высокие потребительские свойства тонкого металлопроката из высокопрочных алюминиевых сплавов, в первую очередь соотношение качество-себестоимость, не могут быть получены с использованием обычных технологий получения такого металлопроката, а именно раздельное литье заготовок и пластическая деформация этих заготовок на прокатном оборудовании. Для получения такого результата потенциальные возможности имеет технологическая цепочка получения из жидкого металла тонкого листа с применением двухвалковых машин непрерывной разливки – прокатки заготовок. Такая технологическая схема, называемая «CASTRIP – process», имеет более высокие технологические и функциональные показатели, чем традиционные способы непрерывной разливки металлов (табл. 1) [1-3]. Процессы формирования литых заготовок при валковой разливке металлов, помимо лучших технологических показателей, в отличие от обычных способов имеют некоторые особен-

ности. При ускоренном затвердевании расплава наблюдается повышенный уровень механических свойств, равномерное распределение легирующих добавок (примесей) и формирование мелкодисперсной структуры, высокая чистота поверхности и меньшая загрязненность металла неметаллическими включениями [4-6]. Поэтому установление возможности применения способа валковой разливки для алюминиевых сплавов, в первую очередь высокопрочных, и выявление закономерностей влияния структуры литой заготовки на механические свойства получаемой металлопродукции после прокатки и термообработки является весьма актуальной научной и практической задачей.

С помощью установки двухвалковой разливки – прокатки металлов нами установлены технологические показатели, которые позволяют получить листовые заготовки небольшой толщины из алюминиевых сплавов В95, Д16, АМг5 и АД35. На наклонной двухвалковой установке с диаметром валков 420 мм и их шириной 500 мм были получены имеющие толщину до 4 мм заготовки. Потом эти заготовки прокатывали в горячем состоянии со степенью обжатия ( $\epsilon$ ): 0, 50, 63, 75 и 87%. Учитывая значения критических температур сплавов, которые определялись дифференциально-термическим анализом, тремя различными способами выполняли термообработку образцов. Первый образец каждого сплава подвергали отжигу в течение двух часов, затем охлаждали вместе с печью до температуры 150°C, потом на воздухе. Второй образец подвергали закалке

в воде в течение 30 минут, потом – старение при комнатной температуре в течение трех суток. Третий образец – сначала закалка в воде в течение 30 минут, потом при температуре 120°C старение в печи в течение суток, а затем охлаждение на воздухе.

Для всей линейки технологических операций валковой разливки сплавов, прокатки заготовок в горячем состоянии и последующей термообработки исследовали микроструктуру и механические свойства. Затем определяли зависимость от технологических условий разливки сплавов количественных свойств сплавов, таких как размер дендритных ячеек  $R$ ,  $A_g$  – параметр формы дендритных ячеек, размер кристаллов интерметаллидов  $D$ , содержание интерметаллидных фаз  $E$ .

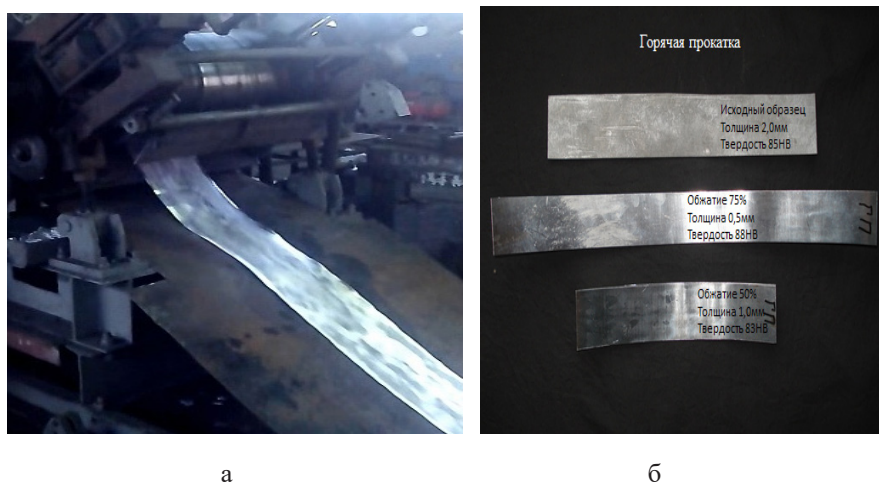
Как показывает металлографическое изучение рассматриваемых сплавов, для всех их типов структура в большинстве своем состоит из равноосных первичных кристаллов  $\alpha$ -Al твердого раствора. Эта фаза затвердевает при температуре ликвидус в значительной мере обуславливает механические свойства сплавов (рис. 2).

Для изучаемых сплавов зерна  $\alpha$ -фазы имеют размеры от 40 до 80 мкм. В структурах образцов исследуемых сплавов помимо первичных кристаллов  $\alpha$ -Al твердого раствора содержатся расположенные ветвями первичных дендритов дисперсные интерметаллидные фазы. Как видим, структура всех полученных образцов сплавов является однородной и характерна тем, что фазовые включения по сечениям образцов распределены равномерно (рис.

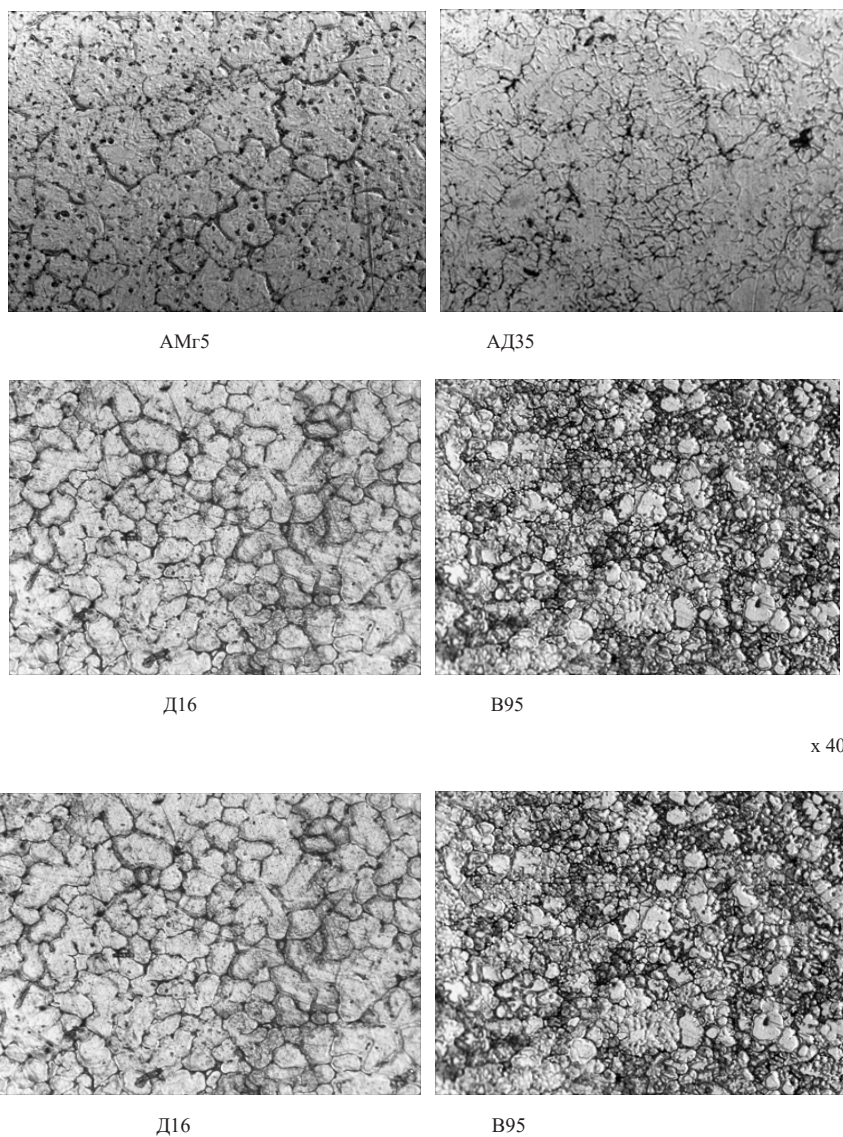
Таблица 1

Технологические параметры разливки стали [1-3]

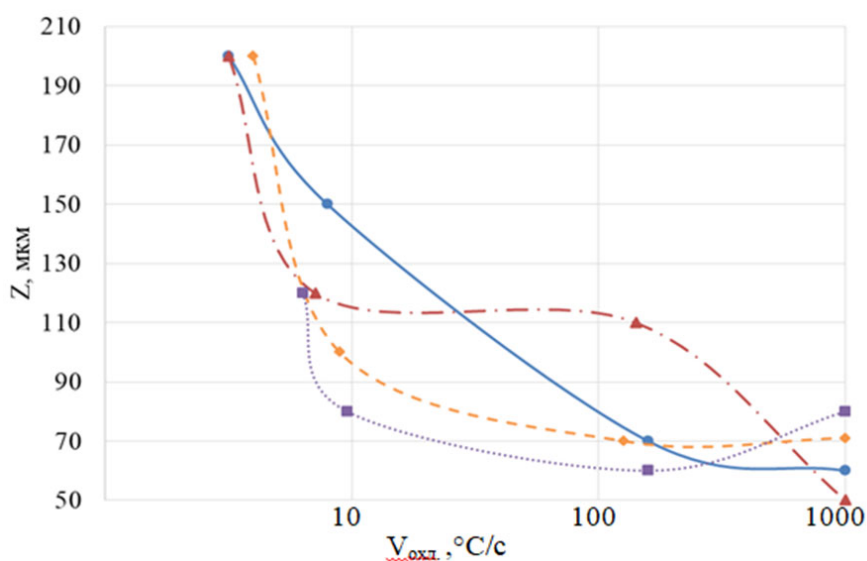
Параметры	Способ разливки		
	Обычная непрерывная разливка	Тонкослябовая разливка	Двухвалковая разливка
Толщина заготовки, мм	220	50	220
Скорость разливки стали, м/мин.	2,2	6,1	2,2
Интенсивность отвода тепла от жидкой стали, МВт/м <sup>2</sup>	1,0	2,4	1,0
Время затвердевания заготовки, сек.	1072	46	1072
Скорость охлаждения заготовок (средняя), °С/сек.	13	52	13



**Рис. 1.** Отливка заготовки на валковой установке (а) и полученные образцы литой заготовки до и после обжатия в горячем состоянии (б)



**Рис. 2.** Микроструктура изучаемых сплавов, отлитых валковой разливкой (скорость охлаждения заготовок  $V_{ох} = 1000^{\circ}\text{C}/\text{с}$ )



**Рис. 3.** Характер зависимости размеров зерен  $\alpha$ -фазы от скорости охлаждения алюминиевых сплавов их при затвердевании:  
 ● – АД35; ▲ – Д16; ◆ – АМг5; ■ – В95

2).

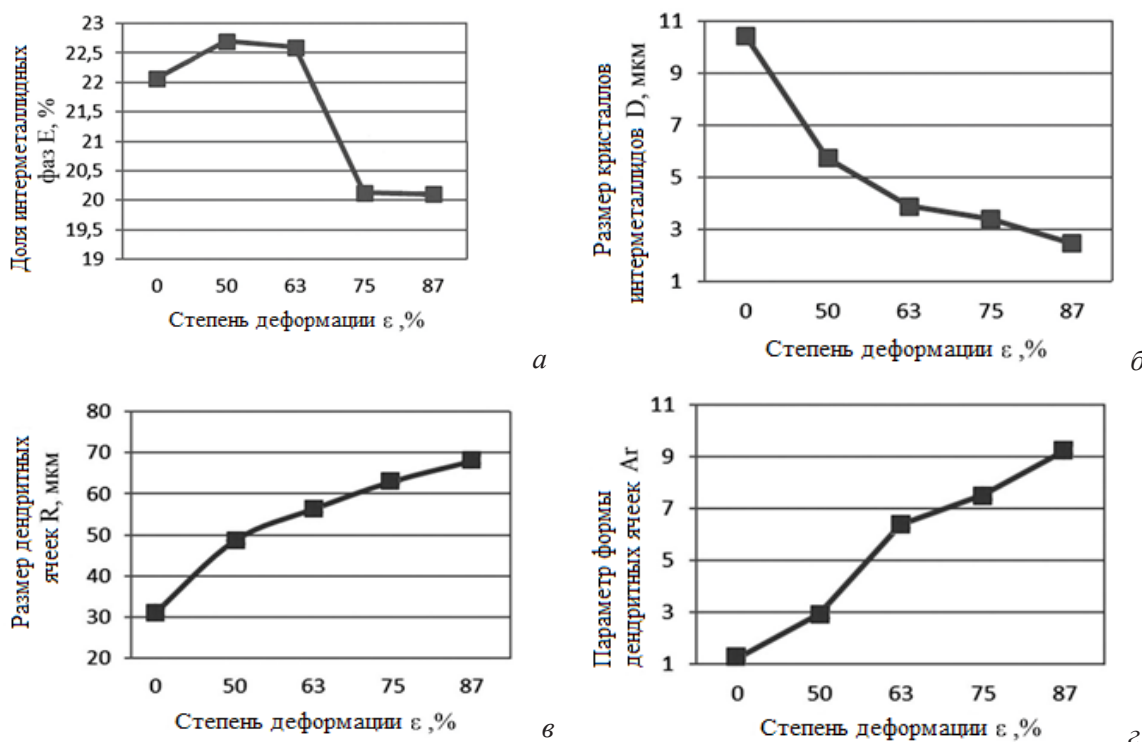
В наших исследованиях применялся метод 2D модели, когда выбирают несколько расположенных рядом зерен, находят площадь каждого зерна и шлифа в целом с помощью планиметрии. Далее выполняют расчет среднего числа зерен, приходящихся на единицу площади шлифа. Чтобы увеличить точность анализа, на разных площадях шлифа выбирают случайные поля зрения и в них для различных групп зерен выполняют расчет.

На рис. 3 показана установленная нашими исследованиями зависимость дисперсности первичной структуры  $\alpha$ -фазы от скорости охлаждения при кристаллизации для всех изучаемых сплавов.

В связи с тем, что для всех изученных сплавов структура в основном состоит из первичных кристаллов  $\alpha$ -фазы, изменения свойств полученных листовых заготовок и характеристик их структур в процессах горячей прокатки и термообработки изучим на одном из рассматриваемых сплавов. Так как в промышленности наиболее востребованы алюминиевые сплавы, обладающие высокой прочностью, то изменения в свойствах и структуре сплавов на этапах валковой разливки, прокатки и термообработки

исследуем на сплаве Д16, у которого интервал кристаллизации составляет  $\Delta T \approx 130^\circ C$ . При валковой разливке сплава Д16 с последующей за этим горячей прокаткой его микроструктура претерпевает значительные изменения. По рис. 4 видно, что если сплав подвергнуть горячей прокатке с обжатием 50%, то размеры первичных кристаллов  $\alpha$ -Al в направлении, перпендикулярном плоскости листа, становятся меньше, а сами первичные кристаллы получают ориентацию по направлению прокатки. Интерметаллиды, которые в основном находятся вдоль границ дендритных ячеек и ориентированы в направлении прокатки, с увеличением степени обжатия заготовки подвергаются измельчению (рис. 4, в). С ростом степени обжатия до  $\epsilon = 75\%$  наблюдается еще большее измельчение расположенных по краям дендритных ячеек интерметаллидов, которые вместе с первичными дендритами  $\alpha$ -Al ориентированы в направлении прокатки (рис. 4, в).

Если степень обжатия увеличить до 87,5%, структура сплава имеет строгий строчечный характер, идентифицировать дендриты  $\alpha$ -Al в обеих проекциях невозможно (рис. 4, г). В отличие от перпендикулярной направлению прокатки плоскости, в параллельной плоскости происходит ориентация интерметаллидов



**Рис. 5.** Количественные характеристики структур образцов сплава Д16 после валковой разливки и горячей прокатки: а – зависимость доли интерметаллидных фаз; б – зависимость размера кристаллов интерметаллидных фаз; в – зависимость размера дендритных ячеек; г – зависимость параметра формы дендритных ячеек

в направлении деформации (рис. 4, г).

При мягком обжатии заготовки в результате пластической деформации количественные характеристики микроструктур образцов претерпевают значительные изменения (рис. 5). С увеличением степени деформации образцов растет длина дендритных ячеек  $\alpha$ -Al твердого раствора и, как следствие, растет параметр формы этих ячеек (рис. 5, в, г). В этом случае объемная доля и размер интерметаллидов уменьшаются, что, возможно, происходит в процессе деформации в результате частичного их растворения [7].

При обработке опытных образцов по технологической схеме «валковая разливка + горячая прокатка ( $\epsilon = 75\%$ ) + термическая обработка» происходят изменения характеристик их структур, которые сводятся к уменьшению количества интерметаллидов, и некоторая их часть растворяется в  $\alpha$ -Al твердом растворе, особенно при горячей прокатке (рис. 5). Уменьшение размеров и параметров интерметаллидов вызвано термообработкой

(отжиг и закалка) горячекатаных образцов, в первую очередь закалкой с естественным старением.

При нагревании деформированного сплава в них протекают процессы рекристаллизации, о чем свидетельствует характер изменения размера и параметра формы ячеек дендритов  $\alpha$ -Al твердого раствора (рис. 6, в, г).

Для того чтобы выявить взаимосвязь между структурой исследуемых сплавов и их механическими характеристиками, по стандартной методике выполнены механические испытания для всех этапов технологической схемы «валковая разливка + горячая прокатка + термическая обработка».

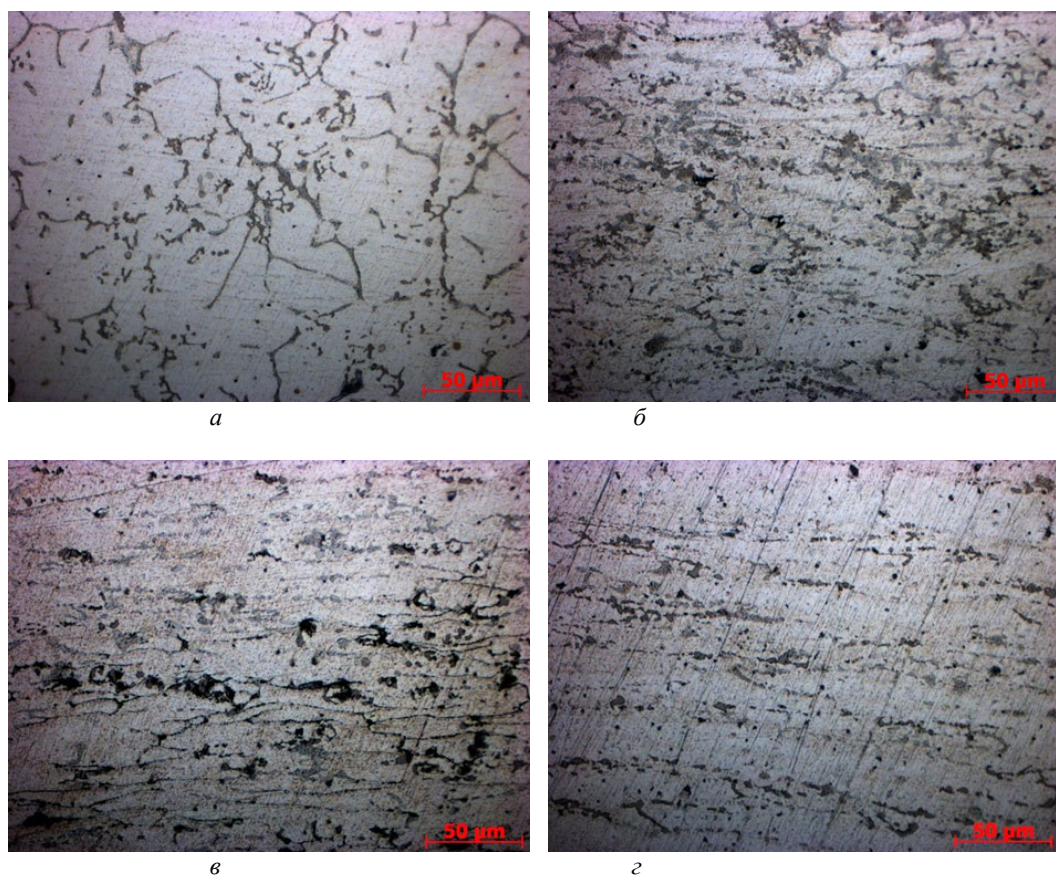
Как показывает анализ значений механических характеристик изучаемых сплавов после их валковой разливки, литые заготовки обладают высокой прочностью, и при этом их пластичность низкая, а пластичность высокопрочных широкоинтервальных сплавов (Д16, В95) близка к нулю (табл. 2).

Анализируя изменение механических ха-

рактических исследуемых образцов при горячей прокатке и термообработке, следует иметь в виду, что процесс горячей прокатки является термомеханической обработкой металла.

Именно этим объясняется растворение интерметаллидов в  $\alpha$ -Al твердом растворе при нагревании сплава перед прокаткой.

В связи с тем, что тонкие образцы остыва-



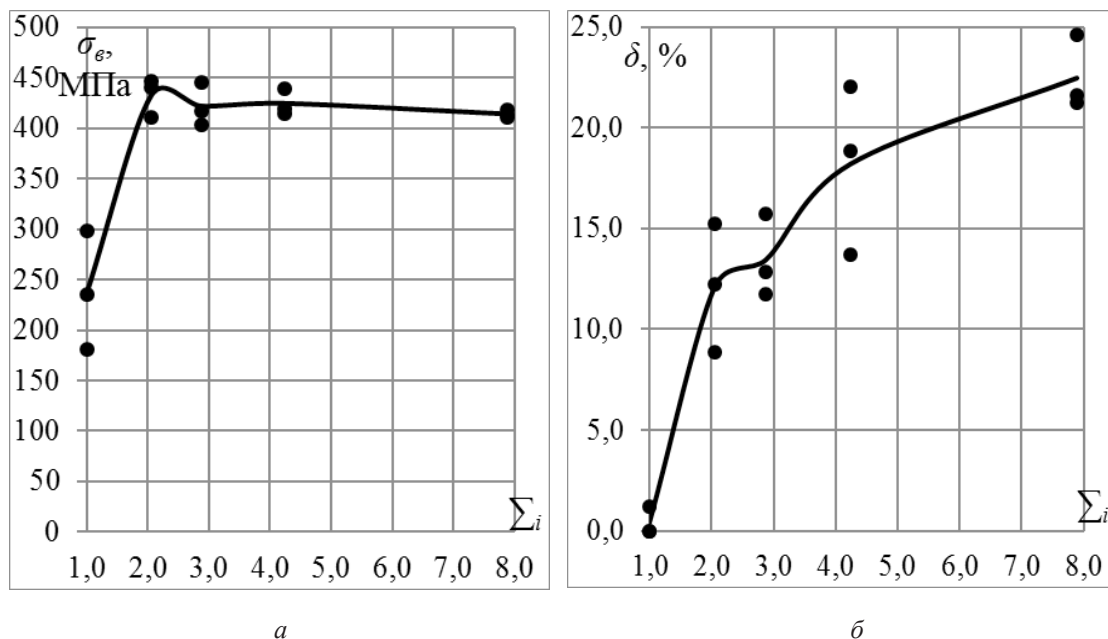
**Рис. 6.** Образцы сплава Д16 после валковой разливки и прокатки в горячем состоянии: а – микроструктура в литом состоянии; б – микроструктура после горячей прокатки ( $\epsilon = 75\%$ ) и термообработки (отжиг образца при температуре  $415^{\circ}\text{C}$  в течение 2 часов, охлаждение с печью до  $150^{\circ}\text{C}$ , потом на воздухе; в – закалка образца в воде при температуре  $495^{\circ}\text{C}$  в течение 30 минут, далее естественное старение более трех суток при комнатной температуре; г – закалка образца при температуре  $495^{\circ}\text{C}$  в воде в течение 30 минут, далее искусственное старение в течение 12 часов в печи при температуре  $T = 120^{\circ}\text{C}$  с последующим охлаждением на воздухе

Таблица 2

Механические свойства литых заготовок

Сплав	Механические свойства образцов			
	Предел текучести $\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Предел прочности $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta$ , %	Относительное сужение $\psi$ , %
Д16	195	199	0,2	0,2
АД35	160	198	4,8	4,3
В95	-	247	0,2	0,2
АМг5	143	181	2,7	2,6





**Рис. 7.** Опытные параметры зависимости относительного удлинения  $\delta$  (б) и кратковременной прочности  $\sigma_b$  (а) от степени обжата  $\Sigma_i$  горячекатаной ленты из сплава Д16

ют очень быстро,  $\alpha$ -Al твердый раствор после прокатки не распадается с выделением интерметаллидов. По рис. 7 видно, что у всех изучаемых сплавов наблюдается улучшение механических свойств, причем характер изменения этих свойств у всех образцов одинаковый (рис. 7). Очевидно, что снижение параметров формы дендритов и их размеров у интерметаллидных фаз и  $\alpha$ -Al твердого раствора приводит к увеличению относительного удлинения, а изменения в структуре металла, связанные с растворением интерметаллидных фаз, вызывает повышение предела прочности.

Опытные данные для сплава Д16 (рис. 7, а) показывают, что изучаемые образцы сразу

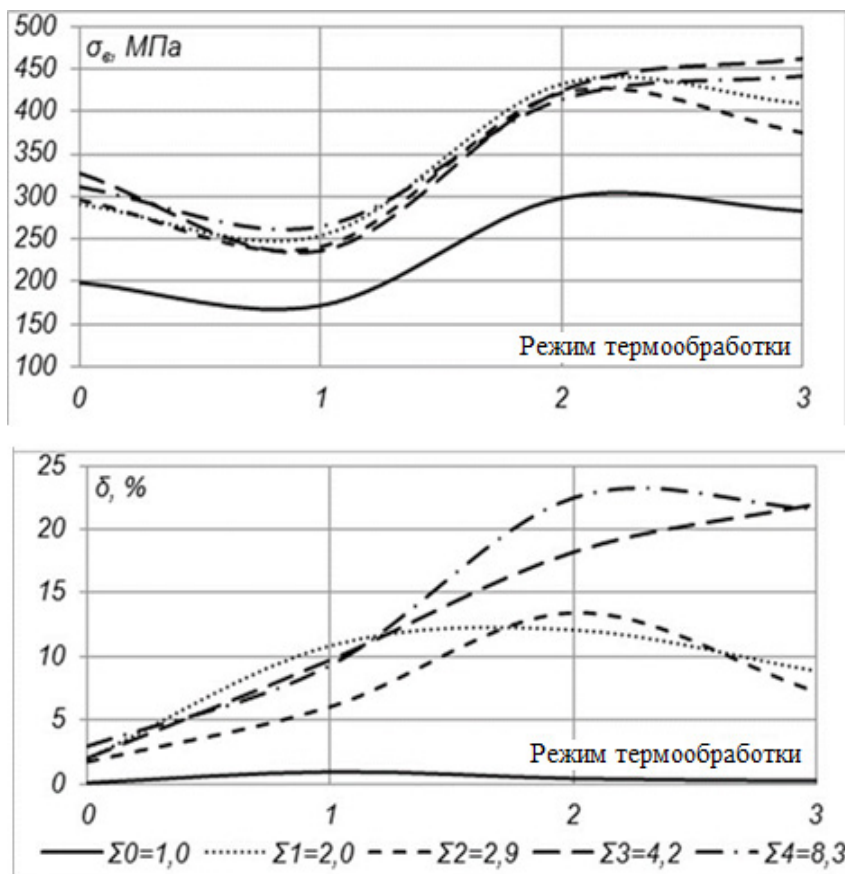
после первого обжата ( $\Sigma_i=2$ ,  $\varepsilon=50\%$ ) достигают предельных значений прочности ( $\approx 400\div 450$  МПа). Для всех сплавов увеличение степени обжата в дальнейшем не вызывает значительного роста прочности, но имеет место тенденция к росту относительного удлинения ( $\delta$ ) у сплавов Д16 и В95 (рис. 7, б). Здесь имеет место отличие от обычно наблюдаемой при обычной термической обработке закономерности, когда с ростом прочностных характеристик пластичность сплава снижается.

Термообработка образцов изучаемых сплавов, выполняемая после их горячей прокатки, вызывает значительное изменение их механических свойств. К примеру, закалка с естествен-

Таблица 3

Механические свойства полученных валковой разливкой лент

Исследуемый сплав		Предел текучести образца $\sigma_{02}$ , МПа	Предел прочности образца $\sigma_b$ , МПа	Относительное удлинение образца $\delta$ , %
В95 (7075)	Эксперимент	475	545	16
	Стандарт	461	520	6
АМг5 (5056)	Эксперимент	226	348	18
	Стандарт	127	255	15
Д16 (2024)	Эксперимент	320	450	22
	Стандарт	284	412	10
АД35 (6082)	Эксперимент	254	333	19
	Стандарт	245	314	8



**Рис. 8.** Зависимость механических свойств от параметров термообработки ленты из сплава Д16, полученной горячей прокаткой при различных величинах обжатия  $\Sigma$ : 0 – образец после прокатки; 1 – образец после отжига; 2 – образец после закалки с естественным старением; 3 – образец после закалки с искусственным старением

ным старением горячекатаной ленты из сплава Д16 приводит к увеличению предела прочности ( $\sigma_b$ ) от 300 до 450 МПа, а пластичность ( $\delta$ ) образца растет от 2 до 22% (рис. 8).

Сравнительная оценка значений механических свойств полученных лент ( $\sigma_{02}$ ,  $\sigma_b$ ,  $\delta$ ) из всех исследованных алюминиевых сплавов показывает, что они находятся на уровне, превышающем требования соответствующего стандарта для листовой металлопродукции (ГОСТ 8617-81).

В общем, резюмируя полученные экспериментальные данные, можно сделать следующие выводы:

- экспериментально доказано, что мето-

дом двухвалковой разливки можно получить листовые заготовки из широкоинтервальных алюминиевых сплавов;

- изучено влияние каждой стадии технологической цепочки (разливка, прокатка и термообработка) на структуру и свойства полученных лент;

- определены оптимальные технологические параметры двухвалковой разливки – прокатки изученных сплавов, гарантирующие получение листовой металлопродукции из них с требуемым уровнем механических характеристик.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов А.Н., Куберский С.В., Смирнов Е.Н. Будущее непрерывной разливки стали: тонкий лист // Черная металлургия: Бюл. института «Черметинформация». 2018. №4. С. 73-78.

2. Killmore C. R., Greely H., Phillips A. Development of ultra-thin cast strip products the CASTRIP-process // *Materials Forum*. 2008. V. 32. P. 12-28.
3. Lindenberg H. U. et al. *Steel Research*. 2001. V. 11-12. P. 727-735.
4. Ноговицын А. В., Нурадинов А. С., Прыгунова А. Г. и др. Структура и свойства литой ленты из сплава Д16 в технологической цепочке «валковая разливка – горячая прокатка – термическая обработка» // *Металловедение и термическая обработка*. 2020. № 2. С. 49-59.
5. Лариков Л. Н., Кондратюк С. Е., Стоянова Е. Н. Структура и свойства сплавов, быстро охлажденных с жидкого состояния // *Металловедение и термическая обработка*. 1996. № 1-2. С. 30-38.
6. Ноговицын А. В., Нурадинов А. С., Гончаров А. Л. и др. Влияние горячей деформации и термической обработки на механические свойства литой ленты из сплава В95 // *Материалы 16 (9) Международной научно-практической конференции «Литье. Металлургия – 2020»*. 6-10 сентября 2020 года. Запорожье, Украина. С.106-107.
7. Нурадинов А. С., Уздиева Н. С., Акхтаев С. С-С. Моделирование процесса валковой разливки-прокатки металлов // *Вестник ГГНТУ. Технические науки*. Том XVII. №3 (25). 2021. С. 25-32.

## ROLL CASTING-ROLLING OF HIGH-STRENGTH ALUMINUM ALLOYS

© A. S. Nuradinov, N. S. Uzdieva, S. S.-S. Akhtaev  
GSTOU named after M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

The technological parameters for the manufacture of thin sheet billets from aluminum alloys on a twin-roll casting-rolling installation have been determined. The effect of hot deformation and heat treatment on the structure and properties of the obtained billets and final rolled metal products for each stage of the technological chain “roll casting – hot rolling – heat treatment” has been studied. It is shown that the level of mechanical properties of a cast strip largely depends on changes in its structure that occur under the influence of various technological factors. It was found that even with a double reduction ( $\varepsilon = 50\%$ ), the strength characteristics for all investigated alloys increase to the maximum level. The strength of rolled products with a further increase in the reduction value increases insignificantly, however, in this case, in high-strength alloys (D16 and V95), an increase in the relative elongation takes place. This is the difference from conventional heat treatment, when with an increase in the strength characteristics of alloys, their ductility decreases. For all studied alloys, the values of mechanical properties are higher than the corresponding standard values.

**Keywords:** soft reduction, cast billet, plasticity, mechanical properties, microstructure, alloy.

### REFERENCES

1. Smirnov, A. N., Kubersky, S. V. and Smirnov, E. N. (2018). ‘The future of continuous steel casting: thin sheet’. *Ferrous metallurgy: Bul. Institute “Chermetinformation”*. №4, pp. 73-78.
2. Killmore, C. R., Greely, H. and Phillips, A. (2008). Development of ultra-thin cast strip products the CASTRIP-process. *Materials Forum*. V. 32, pp. 12-28.
3. Lindenberg, H. U. (2001). *Steel Research*. V. 11-12, pp. 727-735.
4. Nogovitsyn, A. V., Nuradinov, A. S., Prygunova, A. G. and others. (2020). The structure and properties of a cast strip made of alloy D16 in the technological chain “roll casting – hot rolling – heat treatment”. *Metallurgy and heat treatment*. №2, pp. 49-59.
5. Larikov, L. N., Kondratyuk, S. E. and Stoyanova, E. N. (1996). ‘Structure and properties of alloys quickly cooled from a liquid state’. *Metallurgy and heat treatment*. № 1-2, pp. 30-38.
6. Nogovitsyn, A. V., Nuradinov, A. S., Goncharov, A. L. et al. (2020) ‘Influence of hot deformation and heat treatment on the mechanical properties of a cast strip made of alloy B95’. *Materials 16 (9) of the International Scientific and Practical Conference “Casting. Metallurgy – 2020”*. September 6-10, 2020. Zaporozhye, Ukraine, pp. 106-107.
7. Nuradinov, A. S., Uzdieva, N. S. and Akhtaev, S. S-S. (2021). ‘Modeling the process of roll casting-rolling of metals’. *Herald of GSTOU. Technical sciences*, V. XVII, №3 (25), pp. 25-32.

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕМНЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ ДЛЯ ВЫБОРА ОБЪЕКТА ВТОРОГО ЭТАПА МОДЕРНИЗАЦИИ ООО «АФИПСКИЙ НПЗ»

© А. В. Сидоров, Ю. П. Ясьян

*КГТУ, Краснодар, Россия*

В данной работе проведены анализ и сравнение установок глубокой переработки мазута и темных остатков на основе расчета материальных потоков и глубины переработки нефтяного сырья. На основе расчетных исследований осуществлен выбор направления второго этапа модернизации ООО «Афипский НПЗ». Проведены технологические расчеты с учетом добавления в поточную схему завода установки замедленного коксования и установки деасфальтизации. Выбор технологии более глубокой переработки темных нефтепродуктов позволит существенно изменить глубину переработки и повысить эффективность предприятия. В статье приведен математический расчет материального баланса с учетом разных технологий.

**Ключевые слова:** технология, модернизация, коксование, деасфальтизация, переработка.

**Формат цитирования:** Сидоров А.В., Ясьян Ю.П. Анализ технологии глубокой переработки темных нефтепродуктов для выбора объекта второго этапа модернизации ООО «АФИПСКИЙ НПЗ» // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIV, №1 (31). С.67-77. DOI: 10.34708/GSTOU.2023.17.74.007

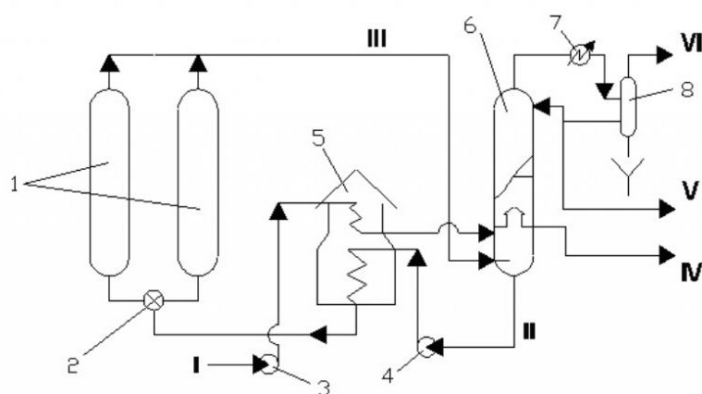
Данная статья является продолжением цикла исследований по вариантам модернизации ООО «Афипский НПЗ». В данной статье рассматривается второй этап модернизации завода – выбор варианта поточной схемы НПЗ с добавлением одной из установок глубокой переработки темных нефтепродуктов: либо установки замедленного коксования (УЗК), либо установки деасфальтизации. Основным сырьем для новой установки является гудрон.

Первым вариантом углубления переработки ООО «Афипский НПЗ» рассматривается дополнение поточной схемы завода установкой замедленного коксования. Замедленное коксование получило наиболее распространенную реализацию в промышленности. В эксплуатацию введены разнообразные установки с мощностью от 300 до 2000 тыс. т сырья в год. Общий возраст установок замедленного коксования по России составляет порядка 50 лет (Башнефтехим, Сибнефть-Омский НПЗ, Новокуйбышевский НПЗ, Лукойл-Пермнефтеоргсинтез, Лукойл-Волгограднефтепереработка) [4]. Относительно новыми установками являются: установка мощностью 1000 тыс. т сырья в год на Комсомольском НПЗ (2012 год

ввода в эксплуатацию), установка мощностью 2000 тыс. т сырья в год в ТАНЕКО г. Нижнекамск (2016 год ввода в эксплуатацию).

Принципиальная схема УЗК показана на рисунке 1 [8].

Плюсом внедрения данной установки в поточную схему Афипского НПЗ является широкий спектр сырья и простота технологии. Однако, начиная с промышленного применения и развития данного процесса, столкнулись с проблемами установок данного типа. Основным принципом современных предприятий служит увеличение межремонтного периода на трех и пятилетний режим работы, что практически очень сложно исполнимо из-за короткого цикла работы печей замедленного коксования. Внутренняя поверхность печей подвержена загрязнению из-за высоких температур процесса и коксованию на стенках трубок змеевиков печей. Коксование в свою очередь усиливается ввиду низкой массовой скорости процесса. Чем больше время нахождения тяжелых фракций внутри печи, тем больше вероятность образования кокса. При наличии кокса на стенке змеевика, дальнейший перегрев и прогар змеевика практически не-



Принципиальная схема установки замедленного коксования:

1 — коксовые камеры; 2 — кран- переключатель потоков; 3, 4 — насосы; 5 — трубчатая печь; 6 — ректификационная колонна; 7 — конденсатор- холодильник; 8 — газосепаратор;  
I — первичное сырье; II — вторичное сырье; III — пары и газы коксования; IV — керосино-газойлевая фракция; V — бензин; VI — газ

**Рис. 1.** Принципиальная схема установки замедленного коксования

отвратим. Свой вклад в локальные перегревы труб печей вносит неверная эксплуатация горелочных устройств и использование газа собственной выработки вместо природного газа. Топливный газ является побочным процессом многих технологий, и с точки зрения экономической целесообразности его подают на горелки, но качество его непостоянно и пламя может быть нестабильным. Топливный газ также может приводить к засорению сопел горелок, что приводит к перегреву в других локальных зонах протекания процесса, а при увеличении пламени его языки могут касаться поверхности труб, что только усугубляет коксование. Колебания качественных характеристик сырья и сочетание разных тяжелых остатков могут сказаться на свойствах товарного продукта: кокс может получиться плохого качества, слишком твердым или слишком мягким. При закоксовывании змеевиков печей необходима чистка, которая проводится различными методами, но все они не безопасны и не экологичны.

Вторым рассматриваемым вариантом является дополнение ООО «Афипский НПЗ» установкой деасфальтизации. Деасфальтизация гудрона рассматривается с вовлечением пропана, применение которого для процесса деасфальтизации обосновано тем, что он не способен растворять смолы и асфальтены, которые выпадают в осадок, при темпе-

ратурах, близких к критической ( $96,8^{\circ}\text{C}$ ) [3]. В эксплуатации находятся установки на Лукойл-ВНП г. Волгоград, АНХК в г. Ангарск, Газпром-СМ в г. Омск. Продуктом установки является асфальт и деасфальтизат [11]. В процессе деасфальтизации пентаном протекают процессы коагуляции асфальтенов, пептизации асфальтенов смолами, разделение смолистых веществ, фракционирование углеводородов при высоких температурах, при этом пентан служит фракционирующим растворителем [6].

Принципиальная схема установки деасфальтизации показана на рисунке 2.

Предлагается к внедрению технология сольветной деасфальтизации Amec Foster Wheeler, которая получила наибольшее распространение, так, например, в США построено свыше 85 установок по данной технологии. Технологический процесс фирмы Фостер Уилер позволяет менять выход светлых дистиллятов и товарного кокса в достаточно широких пределах, при этом в зависимости от рабочих условий процесса возможно получение как простого, так и игольчатого кокса.

Технология UOP/Foster Wheeler была ориентирована на производство продукции с низким содержанием металлов. В данном процессе предусмотрено осаждение тяжелого нефтяного остатка на фазу «деасфальтированным маслом», так называемый DAO (De-Asphalted

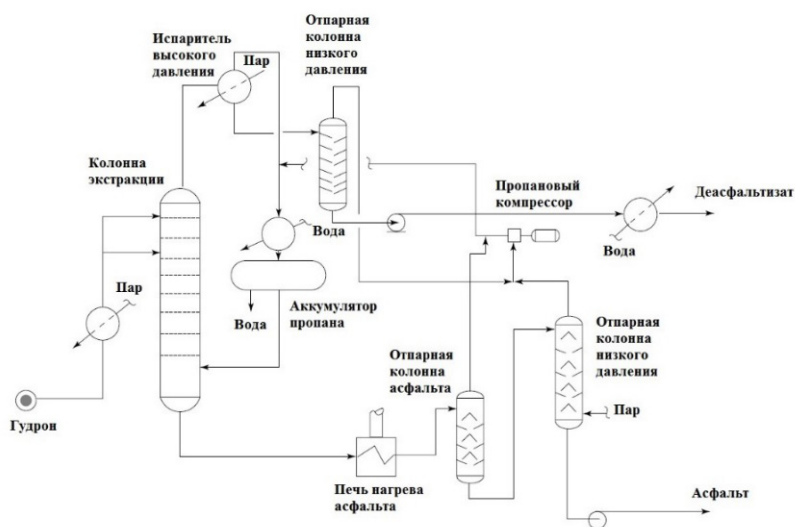


Рис. 2. Принципиальная схема установки деасфальтизации

Oil), и асфальт. Основные параметры процесса приведены в таблице 1.

Увеличение выхода DAO достигается за счет использования легких углеводородных растворителей типа  $C_{4+}$ . Компания Foster Wheeler также предложила использовать пропан, с применением которого в качестве растворителя получается более чистый и высококачественный DAO, который преимущественно используют для производства смазочных масел. Для усовершенствования химических процессов были предложены аппаратные решения по оформлению внутренних устройств сосудов, в которых происходят реакции. В верхней части сосуда находится смесь деасфальтированного масла и растворителя, при этом температуру процесса выдерживают критической для пропана или  $C_{4+}$ , в зависимости от того, какой растворитель при этом применяется. Производительность для секции извлечения растворителя зависит от конструкции внутренних

контактных устройств, повсеместно широкое распространение получили 4 основных вида: вращающиеся дисковые контакторы, параллельные перехватывающие пластины, еще выделяют запатентованные лотки и упаковки. Доминирующим принципом всех устройств является разделение фаз на тяжелую и легкую, с различной степенью формирования капель тяжелой масляной фракции, которая концентрируется в нижней части сосуда. При реализации внутренних контактных устройств также принимаются во внимание физико-химические особенности масла с их улучшением, так, например, при формировании пластин в более наклонном направлении маслу придается плавучесть, которая позволяет каплям лучше сливаться истекать вниз. В равной мере предлагаются не только варианты однократного испарения, а многократное ступенчатое проведение процесса для достижения максимальных показателей процесса. Однако при использо-

Таблица 1

Производительность установки деасфальтизации

Параметр	ед. изм.	Amec Foster Wheeler
Производительность	т/час	233
	т/год	1960000
Количество часов в год	ч	8400
Диапазон работы установки	%	60-110

вании многократных испарений, само собой разумеется, увеличивается металлоемкость технологии, так как увеличивается оборудование, как минимум требуется дополнительный резервуар или емкость и набор насосного оборудования. Было уже доказано, что при использовании более тяжелых растворителей выход DAO увеличивается, но при этом теряется часть качественных характеристик.

Выход светлых продуктов увеличивается при повышении температуры технологического процесса. В случае увеличения рабочего давления и скорости рециркуляции увеличивается глубина переработки с получением большего количества кокса и газа, но выход светлых нефтепродуктов при этом снижается.

Вариативность продолжительности работы установки и примерное сочетание сырья

для установки деасфальтизации приведено в таблице 2.

Наиболее современным способом расчета экономической эффективности технологических установок является программа PIMS. В качестве исходных данных по сырью использованы расчеты, полученные на первом этапе модернизации ООО «Афипский НПЗ» [7].

Основным сырьем является гудрон, получаемый на вакуумной трубчатке ООО «Афипский НПЗ» и АО «КНПЗ-Краснодарэконфть». В программе PIMS был выполнен расчет материального баланса установки замедленного коксования, результаты по получаемым продуктам представлены на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3, основным продуктом является газойль, который можно направить на установку гидроочистки для получе-



Рис. 3. Диаграмма распределения продуктов установки замедленного коксования

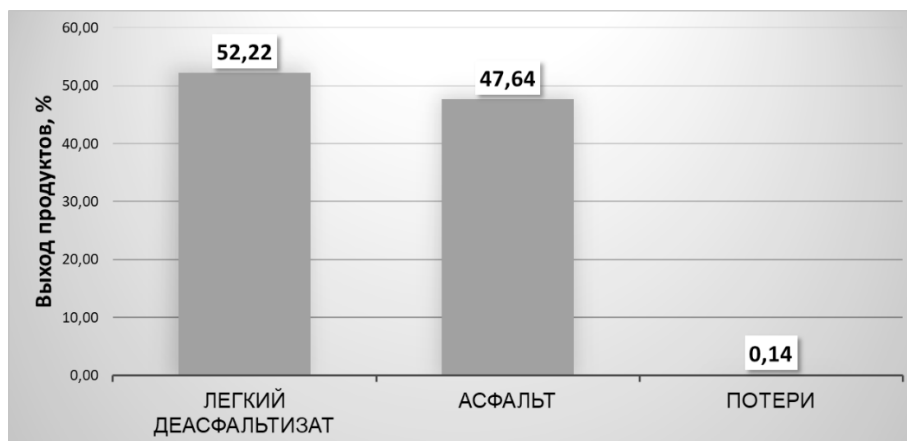


Рис. 4. Диаграмма распределения продуктов установки деасфальтизации

Таблица 2

Варианты работы установки деасфальтизации с различным сочетанием сырьевых потоков и часов работы в году

Сырье	Вариант 1 – расход ЛДАО 122 т/ч		Вариант 2 – расход ЛДАО 158 т/ч	
	т/час	% мас.	т/час	% мас.
Гудрон	180	77,25	180	77,25
Мазут	53	22,75	53	22,75

Таблица 3

Влияние глубины переработки на объем и структуру деструктивных процессов по переработке фракций

Процесс	Глубина переработки, %	Расчетный объем процесса, % на нефть	Объем процесса, % на нефть
Объем переработки нефти, тонн в год	9176015,0	9176015,0	-
Поточная схема с установкой замедленного коксования	95,3	19,0	9,8
Поточная схема с установкой деасфальтизации	96,7	20,1	11,0

ния товарного дизельного топлива. При таком подходе глубина переработки увеличивается.

На рисунке 4 представлено распределение продуктов установки деасфальтизации, возможны еще варианты работы установки, при которых получаемыми продуктами являются легкий и тяжелый деасфальтизат, а также побочные продукты (кислая вода, газообразные углеводороды).

На рисунке 5 приведено сравнение результатов общих расчетных данных по материальным балансам, полученным в программном обеспечении PIMS, на разных вариантах дополнения поточных схем ООО «Афипский НПЗ». Расчетная глубина переработки при модернизации поточной схемы завода установкой деасфальтизации увеличивается до 96,7, но при этом за счет специфики получаемых продуктов и утяжеления остаточных фракций выход светлых дистиллятов, выкипающих до 360°C, уменьшается на 1,86% по сравнению с вариантом развития, при котором схема завода дополняется установкой УЗК.

По данным из литературных источников при широком спектре процессов в технологической схеме завода объем процесса в процентах на нефть (на объем перерабатываемого сырья) для установок замедленного коксования составляет 9,8%, а для установки деасфальтизации 11,0% [5], таким образом уже доказано

влияние данного процесса на глубину переработки предприятия. Данный факт дополнительно подтверждается результатами расчетов в программе PIMS для двух вариантов модернизации ООО «Афипский НПЗ», результаты приведены в таблице 3. Влияние деструктивного процесса деасфальтизации больше на 1,1%, чем влияние УЗК.

Согласно ранее проведенным исследованиям, на выход и показатели качества продукции установки замедленного коксования оказывают влияние состав и качество используемого сырья. В литературе приводятся данные по возможности проведения расчетного анализа в рамках исследовательских работ для оценки выхода продукции по показателю «коксуемость по Конрадсону (CCR – Conradson carbon residue)». Данные зависимости нелинейны. В исследуемой работе сырьем установки замедленного коксования является гудрон, для которого расчетное значение коксуемости принято равным 15% мас.

Проведем сравнение расчетных данных прогнозируемого выхода продукции для установки замедленного коксования с применением дополнительных трех методик прогноза: Гэри и Хэндверка, Смита, Маплеса [1, 2].

Приближенные оценки выходов продукции по зависимостям Гэри и Хэндверка выполнены по формулам:



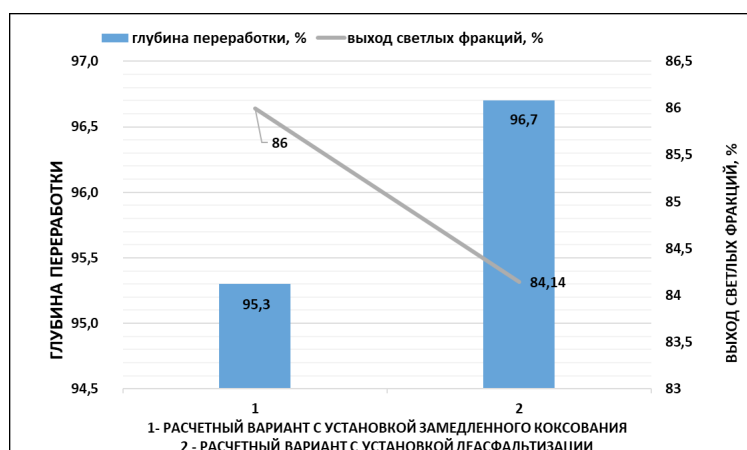


Рис. 5. Сравнение результатов расчетных данных

$$G_{\text{кокс}} = 1,6 * CCR, \quad (1)$$

$$G_{\text{газ}} = 7,8 + 0,144 * CCR, \quad (2)$$

$$G_{\text{нафта}} = 11,29 + 0,343 * CCR, \quad (3)$$

$$G_{\text{газойль}} = 100 - G_{\text{кокс}} - G_{\text{газ}} - G_{\text{нафта}}, \quad (4)$$

где  $G_{\text{кокс}}$ ,  $G_{\text{газ}}$ ,  $G_{\text{нафта}}$ ,  $G_{\text{газойль}}$  – выход кокса, газа, нефти и газойля соответственно, в % мас.;

$CCR$  – значение коксуемости сырья, % мас.

Корреляции зависимостей основаны на технологических условиях ведения режима, например, значение давления в коксовой камере должно быть в пределах 0,24-0,31 МПа, сырьем установки являются прямогонные фракции. При этом, согласно формуле 4, видно, что оценка выхода газойля определяется по остаточному принципу.

Для сырья с коксуемостью в пределах от 2,84 до 25,5% мас. Маплес разработал свои зависимости:

$$G_{\text{кокс}} = -0,3765 + 1,6755 * CCR, \quad (5)$$

$$G_{\text{газ}} = 4,1264 + 0,2745 * CCR, \quad (6)$$

$$G_{\text{газойль}} = 79,225 - 1,9418 * CCR, \quad (7)$$

$$G_{\text{нафта}} = 100 - G_{\text{кокс}} - G_{\text{газ}} - G_{\text{газойль}}, \quad (8)$$

В отличие от предыдущей методики расчета Маплес предложил определять нефть по остаточному принципу, что отличает указанные подходы к определению выходов продукции. Также Маплес дополнительно разработал формулы для прогнозирования содержания серы и плотности в продукции.

В методике прогнозных расчетов Смита в формулах учитывается давление в коксовой камере и зависимости немного сложнее [1, 2].

$$G_{\text{кокс}} = 1,6 * CCR + (3 * (P - 15)) / 20, \quad (9)$$

$$G_{\text{газ}} = 7,4 + 0,1 * CCR + (0,8 * (P - 15)) / 20, \quad (10)$$

$$G_{\text{нафта}} = 10,29 + 0,2 * CCR + (2,5 * (P - 15)) / 20, \quad (11)$$

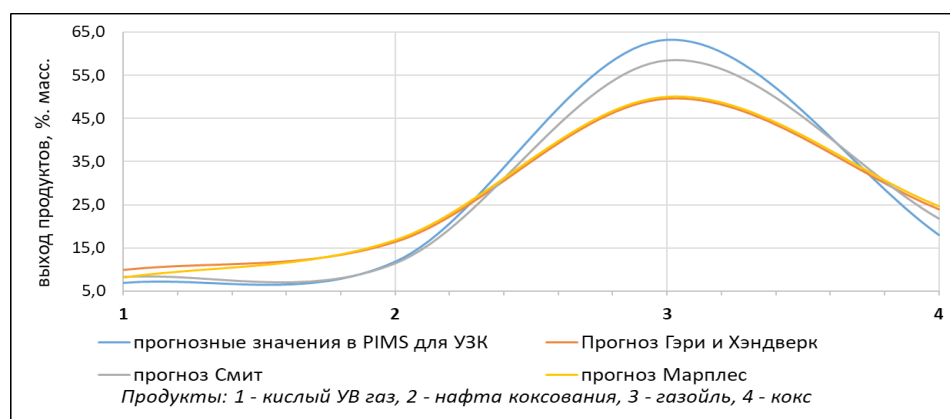
$$G_{\text{газойль}} = 100 - G_{\text{кокс}} - G_{\text{газ}} - G_{\text{нафта}}, \quad (12)$$

где  $P$  – давление в коксовой камере, psig.

График зависимости полученных расчетных данных по рассматриваемым методам прогнозного расчета приведен на рисунке 6.

Как показывает практика, данные прогнозы не совсем точны в своих результатах, в связи с тем что сырье постоянно меняется, и его качество представляет собой основополагающее значение для построения прогнозов в работе предприятий. Следует обратить внимание на современные инструменты прогнозирования, показавшие высокие результаты, такие как PIMS и аналогичные программные продукты.

В свою очередь стоит отметить высокую корреляцию результатов, получаемых методом Смита, так как только в этом методе при расчетах учитываются параметры технологического режима (давление). Методики расчетов Гэри и Хэндверка, Марплеса показали свою низкую сходимость с фактическими данными в связи с тем, что использовались другие рабочие параметры, а также по результатам расчетов выявлено завышение легких продуктов и занижение выходов по газойлю, который является наиболее перспективным продуктом с точки зрения дальнейшей возможности переработки облагораживающими процессами.



**Рис. 6.** График зависимости выхода продукции УЗК по различным прогнозам с учетом планового значения CCR=15% мас.

Произведем расчеты по выходу продукции при изменении коксуемости нефтяного сырья (смесь гудрона) по Кондрадсону (CCR). Если приняты крайние варианты CCR в одном варианте равным 12% мас., то график зависимости изменится, как представлено на рисунке 7.

Из графика на рисунке 7 видно, что корреляция методов сохраняется, прогноз Смита наиболее явно выделяется от двух других прогнозных вариантов.

Приведем расчетные варианты выходов продукции при максимальном значении 30% мас., график зависимости приведен на рисунке 8.

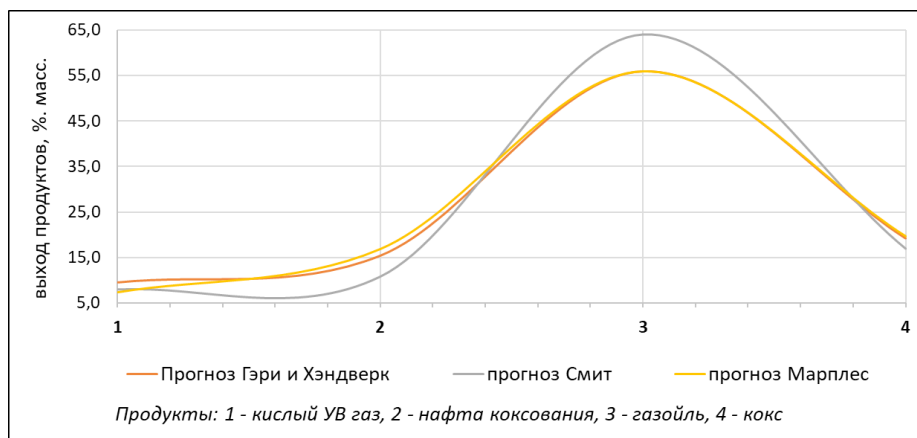
При анализе зависимостей выхода продукции, представленных на графиках рисунков 6-8, можно выявить корреляцию получаемых результатов, при изменении коксуемости гудрона по Кондрадсону в пределах значений от 12% мас. до 30% мас. Не видно наглядного изменения закономерности. С учетом того, что формулы, описывающие зависимость по Смит, наиболее приближены к прогнозным значениям, которые более приближены к реальным, был произведен расчет и сравнение выходов продукции по прогнозу Смита при изменении CCR от 12% мас. до 30% мас.

Результаты зависимости приведены на рисунке 9, где прогноз Смита 1 выполнен при CCR сырья, равном 12% мас., прогноз Смита 2 – при = 15% мас., прогноз Смита 3 – при = 20% мас., прогноз Смита 4 – при = 25%

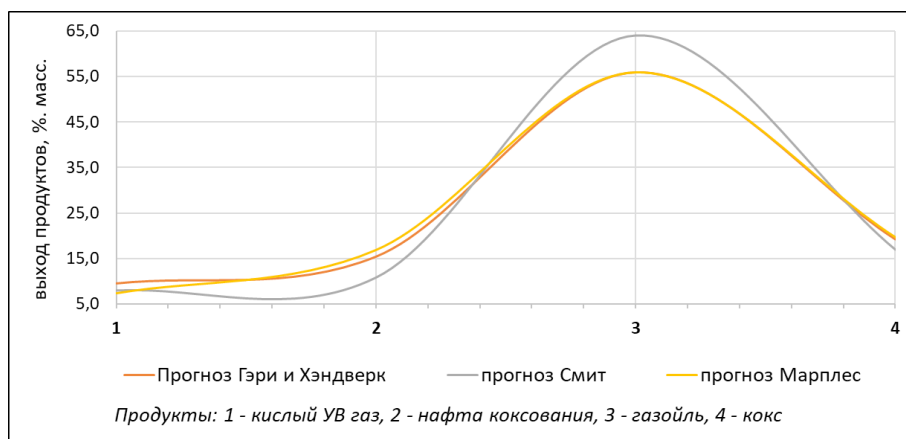
мас., прогноз Смита 5 – при = 30% мас.

При изменении коксуемости по Кондрадсону в сторону увеличения зависимость выхода продукции трансформируется из кривой зависимости в прямую, приведенную в прогнозе Смита 5.

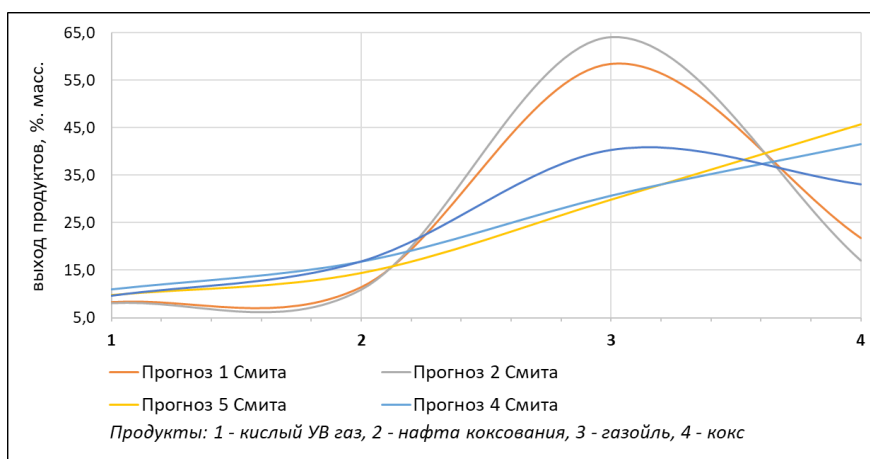
Для дополнительной оценки выбора дальнейшего развития ООО «Афипский НПЗ» необходимо оценить и ситуацию с реализацией продукции и стабильностью рынка сбыта. Внешние условия в последние два года резко поменяли торговые котировки товарных продуктов, и в некоторых случаях произошли кардинальные изменения. Изменения цен на товарные продукты также связаны с реорганизацией рынка сырьевого сегмента: нефтяного сырья, природного газа, а также наложением высокого спроса на сжиженный газ, чего раньше не наблюдалось. Стоит отметить также влияние современных тенденций зеленой экономики, развитие выработки биотоплива из нетрадиционного сырья. В последнее время для снижения негативного влияния на экологию многие предприятия переходят на зеленые технологии либо на сжигание природного газа вместо жидкого и твердого топлива. Как показывает аналитика последних статистических данных, реализация кокса весьма усложнилась, например, в сравнении 2019 и 2020 годов в Новосибирской области, согласно данным Минпромторга, снизились объемы производства кокса и нефтепродуктов на 63%, что весьма существенно.



**Рис. 7.** График зависимости выхода продукции УЗК по различным прогнозам с учетом планового значения CCR=12% мас.



**Рис. 8.** График зависимости выхода продукции УЗК по различным прогнозам, с учетом планового значения CCR =30% мас.



**Рис. 9.** График зависимости выхода продукции УЗК по прогнозу Смита при изменении CCR

Так, например, цена товарного кокса (рисунки 10) на мировых котировках составляет в среднем 395 долларов за тонну по состоянию на декабрь 2022 года [10], по курсу ЦБ РФ

(на дату 17.12.2022) 64,6Р за 1 \$ цена составит 25517 рублей за 1 тонну продукта.

При этом динамика показывает нестабильный уровень цен на кокс, в отличие от битума

и асфальта, которые отражают стабильную и положительную динамику цен, статистические данные за 2022 год приведены на рисунке 11 [9].

Средняя стоимость асфальта составляет 25 700 рублей за 1 тонну продукта, что больше цены на кокс. Также по различным источникам приводятся данные о росте потребности в асфальте, а также удорожании строительных материалов, что, в свою очередь, влияет на прибыльность предприятия с установкой деасфальтизации.

Битумная отрасль даже в непростые экономические времена не стояла на месте, в последние несколько лет наблюдался стабильный впечатляющий рост показателей, в сравнении объёмов производства снижение составило незначительное значение (показатель произ-

водства товарного продукта за 2021 составил 2 миллиона тонн битума, а за 2022 год – 1,9 миллионов тонн битума). На этот показатель влияет график производства дорожных работ, а в РФ стабильно увеличивается потребность в ремонте и строительстве дорог.

Таким образом, в ходе проведения научных изысканий по выбору пути развития ООО «Афипский НПЗ» на основании расчетных данных можно сделать однозначный вывод, что для увеличения глубины переработки нефти и улучшения технико-экономических показателей следует дополнение поточной схемы завода установкой деасфальтизации. При этом стоит учитывать влияние грамотного планирования с использованием современных программных продуктов либо патентов для улучшения технико-экономических показателей НПЗ.

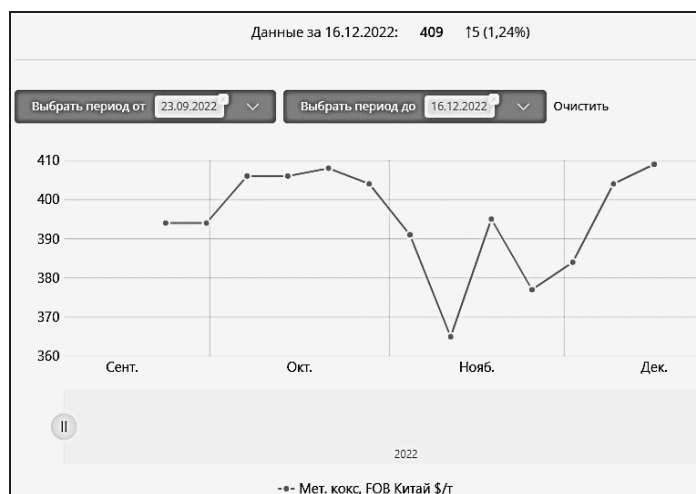


Рис. 10. Цены на товарный кокс

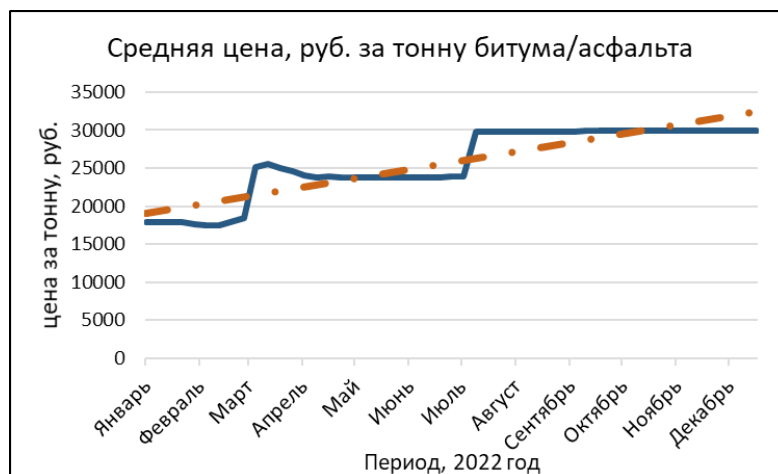


Рис. 11. Динамика цен на битум и асфальт

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Анчита Х.* Переработка тяжелой нефти. Реакторы и моделирование процессов/Пер. с англ. под ред. О. Ф. Глаголевой, В. А. Винокурова. СПб.: Профессия, 2015. 588 с.
2. *Айюб Зейн Алабдин, Ермак А. А.* Влияние свойств компонентов сырья на выход и качество продуктов процесса замедленного коксования нефтяных остатков (обзор) // *Промышленность. Прикладные науки.* № 11. С. 115-122, 2020.
3. *Власенко В. Е.* Установка деасфальтизации масел. М.: Химия, 1975. С. 34-36.
4. *Глаголева О. Ф.* Способы коксования и их технологические особенности // *Мир нефтепродуктов.* № 4. 2009.
5. *Каминский Э. Ф., Хавкин В. А.* Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты. М.: Техника, 2001. С. 384.
6. *Гусев А. А.* Общие сведения и сравнительная характеристика установок деасфальтизации гудрона пропаном // *Вестник магистратуры.* 2019. № 3-2 (90).
7. *Сидоров А. В., Ясьян Ю. П.* Перспективы модернизации Афипского НПЗ // *Технологии нефти и газа.* № 2. 2022. С. 10-13.
8. Электронный ресурс: <https://fb.ru/article/435692/ustanovka-zamedlennogo-koksovaniya-proekt-printsip-raboty-i-raschet-moschnosti-i-syire>
9. Электронный ресурс: <https://metallplace.ru/price-index> (Дата обращения: 21.12.2022).
10. Электронный ресурс: <https://monitoring.rosfirm.ru> (Дата обращения: 21.12.2022).
11. Электронный ресурс: <https://pronpz.ru/ustanovki/deasphalting.html>

## HYDROCRACKING COMPLEX – THE MAIN FACILITY OF THE FIRST STAGE OF AFIP REFINERY MODERNIZATION

© A. V. Sidorov, Yu. P. Yasyan

*KSTU, Krasnodar, Russia*

In this paper, an analysis and comparison of deep processing of fuel oil and dark residues was carried out, based on the calculation of the material balance and the depth of processing, the direction of the second stage of modernization of Afipsky Refinery LLC was selected. Technological calculations were carried out taking into account the addition of a delayed coking unit and a de-asphalting unit to the flow diagram of the plant. The choice of technology for deeper processing of dark petroleum products will significantly change the depth of processing of the plant. The article presents a mathematical calculation of the material balance taking into account different technologies.

**Keywords:** coking, de-asphalting, modernization, processing, indicators.

## REFERENCES

1. Ancheyta, J. (2013). Modeling of processes and reactors for upgrading of heavy petroleum. Boca Raton, FL: CRC Press, 561 p. (Chemical Industries Series. No. 136). (In Ancheyta J. Russ. Ed.), *Pererabotka tyazheloi nefiti. Reaktory i modelirovanie protsessov.* St. Petersburg: Professiya, 2015. 588 p.).
2. Ayub Zein, Alabdin and Yermak A.A. (2020). 'Influence of the properties of raw materials components on the yield and quality of products of the delayed coking process of oil residues (review)'. *Industry. Applied Sciences*, № 11, pp. 115-122.
3. Vlasenko, V. E. (1975). Installation of oil deasphalting. Chemistry, Moscow, pp. 34-36.
4. Glagoleva, O. F. (2009). 'Coking methods and their technological features'. *The World of Petroleum Products Magazine*, № 4.
5. Kaminsky, E. F. and Khavkin, V.A. Deep oil refining: technological and environmental aspects Author: Publisher: Moscow: Publishing House "Technika" Year: 2001. P. 384.

6. Gusev, A. A. (2019). 'General information and comparative characteristics of tar de-asphalting plants with propane'. *Bulletin of the Magistracy*. №3-2 (90).
7. Sidorov, A. V. and Yasyan, Yu.P. (2022). 'Prospects of modernization of the Afipsky refinery' *Oil and Gas Technologies*, №2, 2022, pp. 10-13.
8. Available at: <https://fb.ru/article/435692/ustanovka-zamedlennogo-koksovaniya-proekt-princip-raboty-raschet-moschnosti-i-syire>
9. Available at: <https://metallplace.ru/price-index> (Accessed: 12/21/2022).
10. Available at: <https://monitoring.rosfirm.ru> (Accessed: 12/21/2022).
11. Available at: <https://pronpz.ru/ustanovki/deasphalting.html>

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 004.89:691.3 DOI:

10.34708/GSTOU.2023.60.56.008

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ БЕТОНА МЕТОДОМ К-БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ В УСЛОВИЯХ НЕСБАЛАНСИРОВАННОСТИ КЛАССОВ

© С. А. Иванченко, И. Ф. Развеева, Г. С. Оноре  
*ДГТУ, Ростов-на-Дону, Россия*

В настоящей работе решается задача классификации бетона с применением алгоритма машинного обучения с учителем (метод k-ближайших соседей) в условиях несбалансированности классов. В качестве исходного набора данных для применения метода выступает таблица, содержащая результаты серии экспериментальных составов различных классов бетонов: В30, В35 и В40. Изготовление образцов осуществлялось с соблюдением требований ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». Во избежание «перекоса» модели в сторону мажоритарного класса В30 применена балансировка данных с помощью вероятностного сэмплинга, андерсэмплинга и оверсэмплинга. Показана точность моделей в зависимости от параметра k, который задаёт число «соседей», которые будут использоваться при классификации. Определено, что наилучшим способом балансировки данных является метод оверсэмплинг, показывавший высокие значения качества классификационной модели при определении класса В40, определение которого является приоритетным.

**Ключевые слова:** машинное обучение, классификация, метод k-ближайших соседей, вероятностный сэмплинг, андерсэмплинг, оверсэмплинг, бетон, класс бетона.

**Формат цитирования:** Иванченко С. А., Развеева И. Ф., Оноре Г. С. Решение задачи классификации бетона методом k-ближайших соседей в условиях несбалансированности классов // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIV, № 1 (31). С. 78-87. DOI: 10.34708/GSTOU.2023.60.56.008

При растущих темпах строительства применение «умных» алгоритмов – одна из ключевых составляющих цифрового перехода в строительной сфере. Интерес к внедрению интеллектуальных систем обусловлен тем, что применение подобного рода систем позволяет вывести процесс принятия решений в технологических и технических вопросах производства строительных материалов на новый качественный уровень за счет сокращения временных затрат и рутинного труда, а также уменьшения влияния человеческого фактора.

Ряд исследователей делают вывод, что внедрение систем на основе ИИ в строительной сфере является главной тенденцией в развитии данной отрасли. Так, в исследовании [2] говорится, что применение ИИ позволяет добиться значительной пользы для строительной компании, позволяя снизить издержки и уменьшить

количество проблем, связанных с кадровой политикой и рисками. Статистические данные по росту рынка технологий ИИ в исследовании [6] подтверждают актуальность рассматриваемой темы. Стоит отметить, что «умные» алгоритмы успешно сочетаются с другими информационными технологиями с целью получения новых синергетических эффектов [3, 4]. В частности, применение подобных технологий позволяет усилить свои позиции в обслуживании клиентов [1].

В настоящее время все чаще методы искусственного интеллекта (ИИ) выступают альтернативными способами прогнозирования механических свойств строительных материалов наряду с традиционными способами их определения. В связи с чем, цель данного исследования: решение задачи классификации бетона с помощью метода машинного обуче-

Таблица 1. Таблица экспериментальных данных

№	Высота, мм (h)	Шаг, мм (b)	Длина, (l) мм	Режим вибрирования	Уг. ск. вращения ( $\omega$ )	Прочность на сжатие, МПа	Класс
1	2,5	15	15	С	120	41,4	В30
2	2,5	15	15	С	156	42,3	В30
3	2,5	15	15	С	84	40,8	В30
4	2,5	15	15	П	120	41,7	В30
5	2,5	15	15	П	156	46,8	В35
6	2,5	15	15	П	84	42,2	В30
7	2,5	15	15	А	120	42,4	В30
8	2,5	15	15	А	156	43,9	В30
9	2,5	15	15	А	84	42,5	В30
10	2,5	15	30	С	120	48,5	В35
...							
484	5	15	30	С	180	54,3	В40
485	5	15	30	С	106	42,8	В30
486	5	15	30	П	130	54,2	В40

Таблица 2. Статистические характеристики исходного набора данных

Величина	Высота, мм (h)	Шаг, (b)	Длина, (l)	Уг. ск. вращения ( $\omega$ )	Прочность на сжатие, МПа
Ед. изм	мм	мм	мм	рад/сек	МПа
count	486.00	486.00	486.00	486.00	486.00
mean	5.83	21.67	30.00	129.33	45.58
std	3.12	6.24	12.26	31.56	4.30
min	2.50	15.00	15.00	84.00	40.00
max	10.00	30.00	45.00	180.00	57.90

ния. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выбор эмпирической базы исследования;
- анализ статистических характеристик исходного набора данных;
- применение различных стратегий балансировки выборки;
- создание оптимальной модели машинного обучения на основе алгоритма k-ближайших соседей;
- анализ результатов с учетом значений основных метрик оценки качества модели.

В качестве исходного набора данных для применения метода машинного обучения выступает таблица, содержащая результаты серии экспериментальных составов разных классов бетонов: В30, В35 и В40. Изготовление образцов осуществлялось с соблюдением

требований ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

В таблице 1 представлена часть анализируемого массива данных.

Итого, набор данных содержит 486 экспериментов, в качестве признаков модели выступают столбцы: высота технологических выступов хомутов, шаг между технологическими выступами хомутов, длина технологических выступов хомутов, режим вибрирования (асинхронный (А), попеременный (П), синхронный (С)) и угловая скорость вращения. Переменной, характеризующей метки классов, является столбец «Класс», принимающий значения В30, В35 и В40. Статистические характеристики набора данных показаны в таблице 2.

При этом объектов класса В30 в исходном наборе 299, класса В35-144, а В40-43. Это объ-



ясняется тем, что класс В30 является одним из наиболее ходовых классов бетона в современном строительстве, проектные требования по этому классу чаще всего предъявляются к широкому спектру и номенклатуре железобетонных изделий и конструкций.

В машинном обучении нередко возникают ситуации, когда в обучающем наборе данных доля примеров некоторого класса оказывается слишком низкой, т.е. класс является миноритарным, как класс В40 в нашем исследовании. Преобладающим классом (мажоритарным) является класс бетона В30.

Решение задачи классификации в условиях несбалансированности классов является серьёзным вопросом с точки зрения получения корректных результатов [5]. Поэтому если несбалансированность имеет место в обучающем наборе данных, необходимо применить ту или иную стратегию балансировки выборки. Это позволяет если не полностью решить проблему несбалансированности, то во всяком случае снизить её остроту. В настоящем исследовании применены следующие стратегии: вероятностный (случайный) сэмплинг, андерсэмплинг и оверсэмплинг.

*Вероятностный (случайный) сэмплинг*

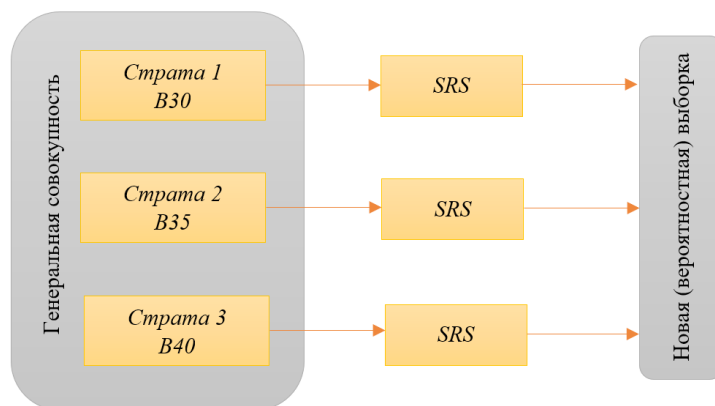
В результате применения стратегии случайного сэмплинга получается так называемая вероятностная выборка, в которой каждый элемент совокупности может быть извлечён с некоторой ненулевой вероятностью, которая для каждого элемента определяется алгоритмом сэмплинга. Преимущество случайного сэмплинга в том, что при правильной его ор-

ганизации он обеспечивает репрезентативность выборки. Несмотря на простоту метода, при правильной его настройке обеспечивается репрезентативность выборки. В данном исследовании применена одна из разновидностей вероятностного сэмплинга – стратифицированный сэмплинг (Stratified sampling, SS).

Стратифицированный сэмплинг предполагает разделение исходного набора данных на несколько однородных групп (страт), и в дальнейшем объекты из каждой страты извлекаются независимо.

Страты должны быть исчерпывающими (т.е. любой объект принадлежит какой-либо страте) и взаимоисключающими (каждый объект может принадлежать к одной и только одной страте). В данном случае каждая страта представляет собой класс бетона: страта 1 – В30, страта 2 – В35, страта 3 – В40. К каждой страте применяется процедура простого случайного сэмплинга (Simple Random Sampling, SRS).

В SRS каждый объект исходной выборки имеет равную вероятность быть отобранным в новую (вероятностную) выборку, при этом объекты выбираются произвольным образом и независимо друг от друга (рис. 2). В текущем исследовании каждый объект генеральной выборки был извлечён один раз (без возврата) для классов бетона В30 и В35, так как количества объектов в данных классах было достаточно для формирования обучающего множества. В свою очередь, для класса В40 данный метод был дополнен возможностью возврата. Количество элементов для каждого из классов в новой выборке (значение  $M$ ) было принято равным 70.



**Рис. 1.** Стратифицированный сэмплинг

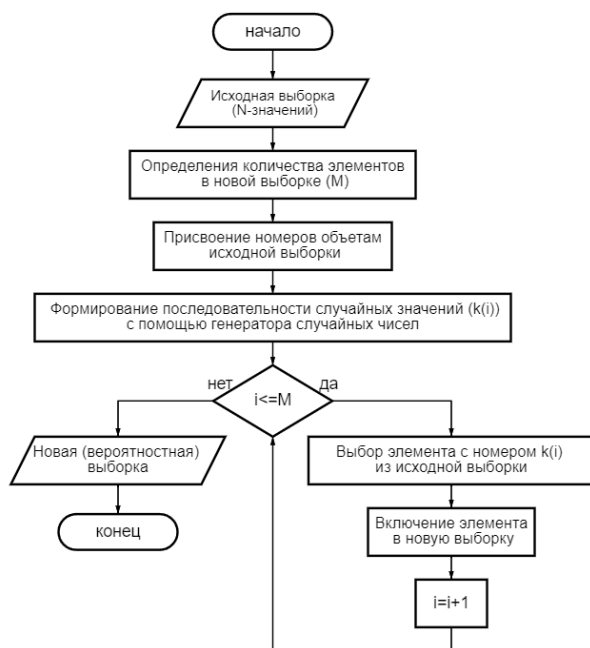


Рис. 2. Алгоритм SRS

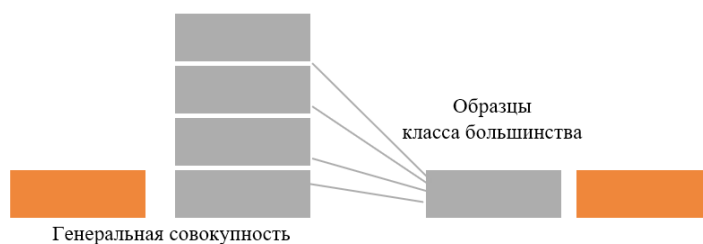


Рис. 3. Процесс андерсэмплинга

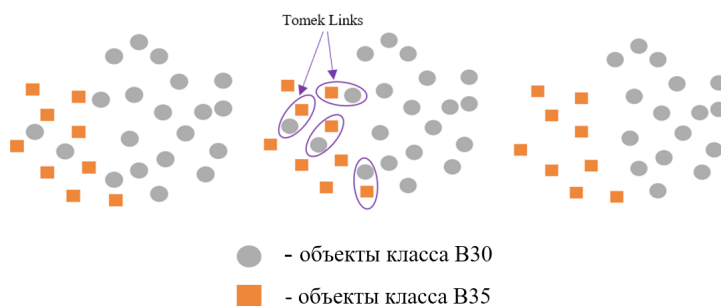


Рис. 4. Андерсэмплинг

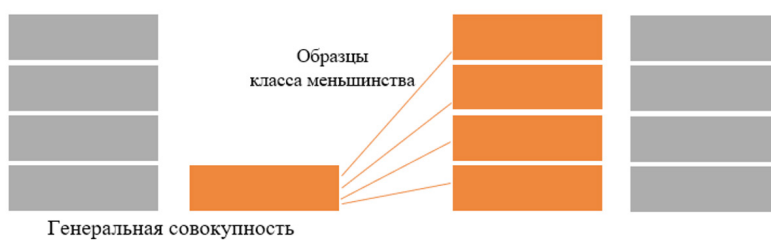


Рис. 5. Процесс оверсэмплинга

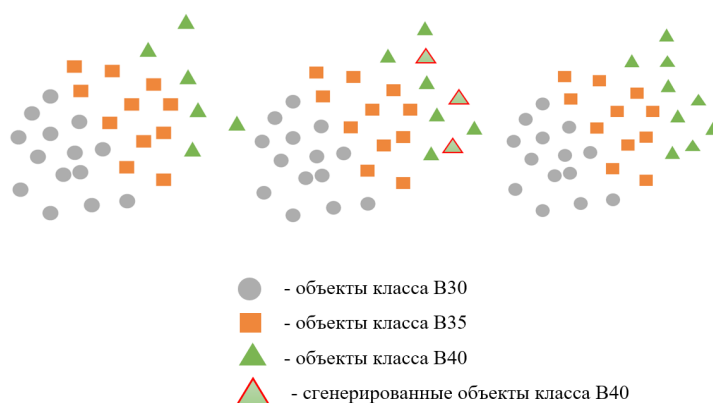


Рис. 6. Процесс оверсэмплинга с алгоритмом SMOTE для класса V40

*Андерсэмплинг*

В основе данного метода заложен процесс удаления элементов из мажоритарного класса, как показано на рисунке 3.

Процесс удаления может быть основан на разных методах. В данном исследовании применен андерсэмплинг методом Tomek Links, где «Links» – пары элементов из разных классов, находящиеся поблизости (рис. 4).

К образцам бетонной смеси классов V30/V35 и V35/V40 применен метод андерсэмплинга с использованием Tomek Links. Удаление элементов из числа класса большинства (V30 в первой паре и V35 во второй) позволит классификатору отработать лучше.

*Оверсэмплинг*

Данный метод предполагает это дублирование примеров миноритарного класса,

Таблица 3. Выборки, полученные путем сэмплинга

Класс бетона	Исходная выборка	Выборка № 1	Выборка № 2	Выборка № 3
V30	299	70	43	299
V35	144	70	43	299
V40	43	70	43	299

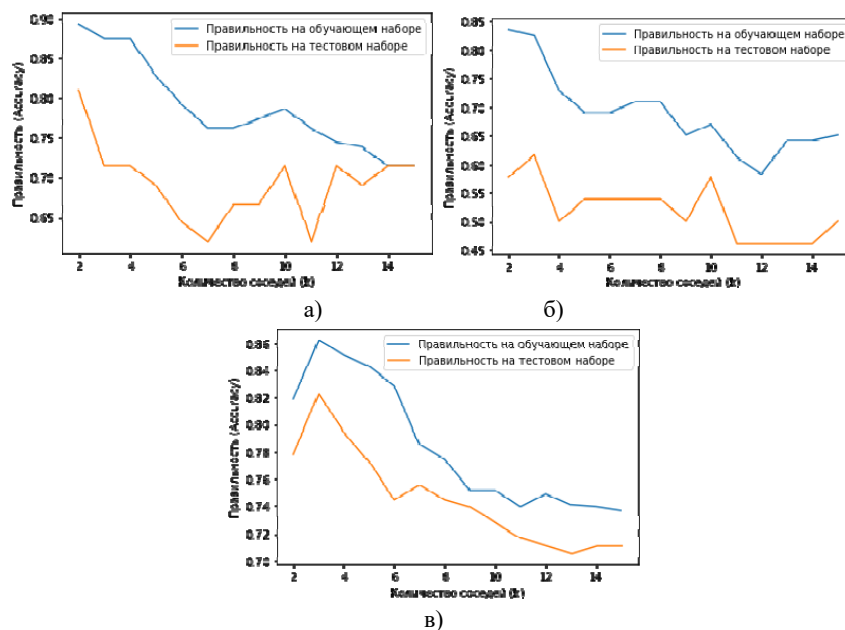


Рис. 7. Точность модели в зависимости от параметра k: а) для выборки № 1; б) для выборки № 2; в) для выборки № 3

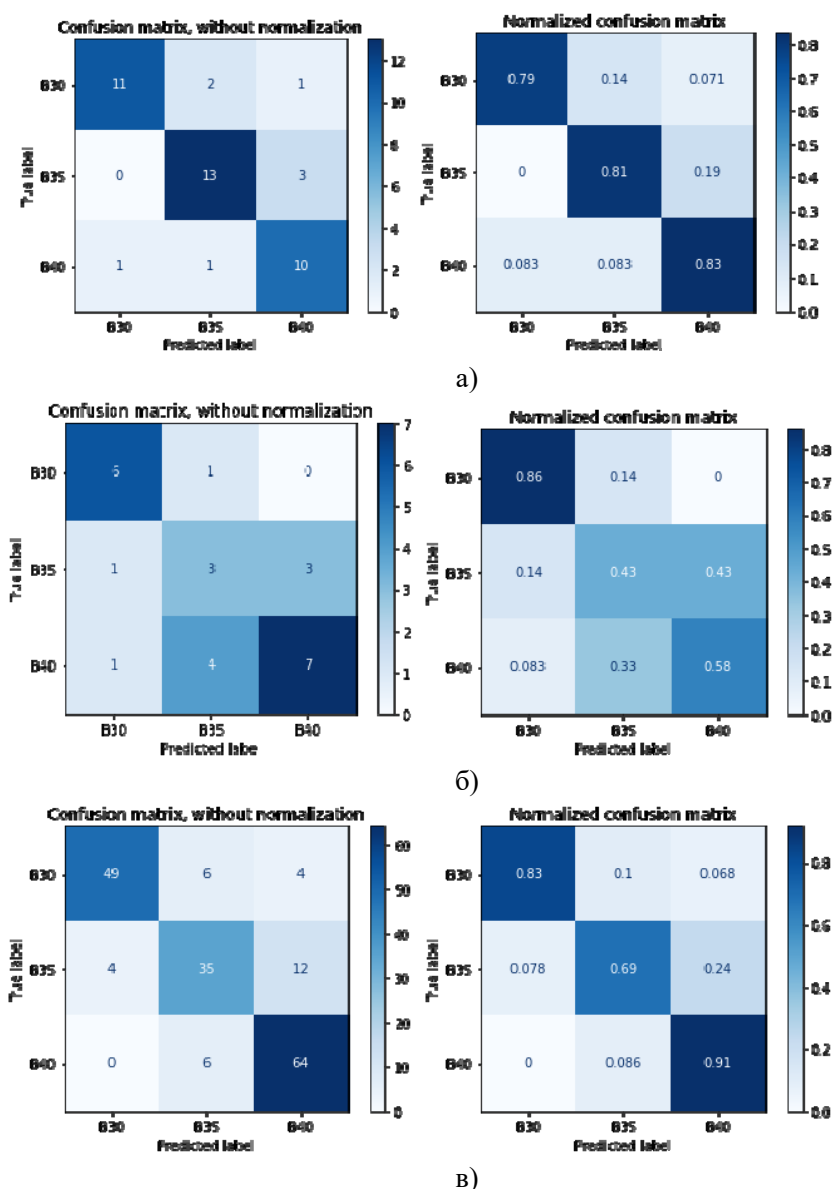
в нашем случае это классы бетона В35 и В40. На рисунке 5 представлен процесс оверсэмплинга.

Подход к восстановлению баланса путем простого дублирования объектов из миноритарного класса не всегда является эффективным, поэтому в данном исследовании применена его усовершенствованная версия с использованием алгоритма SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique). Модификации заключаются в создании заданного числа новых наблюдений, которые были бы «похо-

жи» на объекты, имеющиеся в миноритарном классе, но при этом не дублировали их.

Как показано на рисунке 6, класс В40 дополнен искусственно созданными объектами, при этом они не являются точной копией исходных, что позволит сохранить общую логическую связь между признаками для данного класса. Таким же образом был дополнен и класс В35.

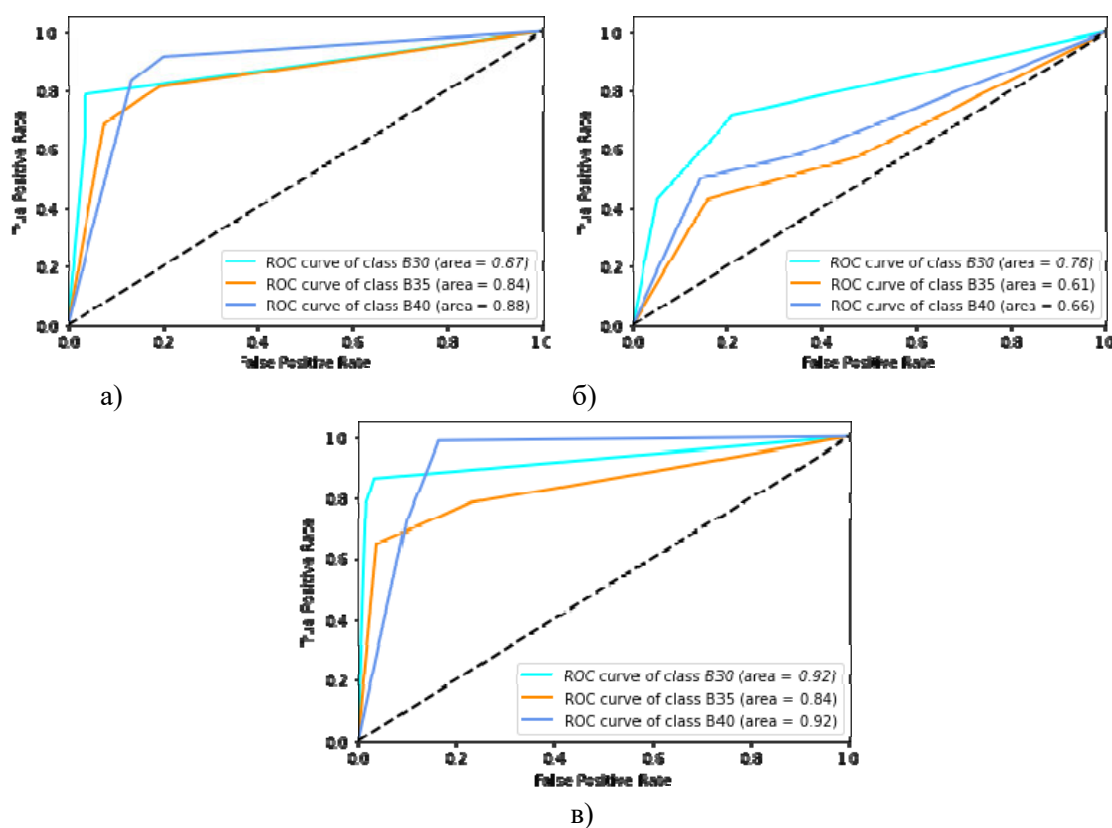
В результате предобработки данных получены три новые выборки, как показано в таблице 3 (выборка № 1, созданная с помощью алгоритма вероятностного сэмплинга, выбор-



**Рис. 8.** Матрицы ошибок: а) для выборки № 1; б) для выборки № 2; в) для выборки № 3

**Таблица 4.** Значения метрик качества классификационной модели

Выборка	Класс	Precision	Recall	F1-score	Ассурасу (на обучающей выборке)	Ассурасу (на тестовой выборке)
Выборка № 1	B30	0.79	0.92	0.85	0.89	0.81
	B35	0.81	0.81	0.81		
	B40	0.83	0.71	0.77		
Выборка № 2	B30	0.86	0.75	0.80	0.83	0.62
	B35	0.43	0.38	0.40		
	B40	0.58	0.70	0.64		
Выборка № 3	B30	0.83	0.92	0.88	0.82	0.86
	B35	0.69	0.74	0.71		
	B40	0.91	0.80	0.85		



**Рис. 9.** Кривая ROC для:  
а) выборки № 1; б) выборки № 2; в) выборки № 3

ка № 2 – с применением андерсэмплинга, выборка № 3 – с применением и оверсэмплинга), к которым применен алгоритм машинного обучения с учителем – метода k-ближайших соседей (k-nearest neighbors algorithm, KNN).

Для подбора оптимального параметра k (количества соседей) модели была применена сетка параметров и 5-блочная кросс-валидация. На рисунках 7а, 7б и 7в показаны графики правильности (ассурасу) для обучающей

и тестовой выборки для каждой из выборок при изменении параметра k в диапазоне [2; 16].

Согласно рисункам оптимальными значениями параметра k для выборок № 1, 2 и 3 являются значения 2, 3 и 3 соответственно, так как наблюдаются лучшие значения метрики точности как на обучающей, так и на тестовой выборке.

При использовании оптимальных значений параметра k для каждой из моделей по-

лучены результаты (8а, 8б и 8в), выраженные в виде матрицы ошибок, которая подходит для оценки классификатора в случае дисбаланса данных [7]. В таблице 4 представлены значения основных метрик, вычисленных на основании матриц.

Для наглядной оценки качества алгоритмов построены ROC-кривые (рис. 9). Кривая строится на плоскости, определённой TPR (по оси ординат) и FPR (по оси абсцисс), в многоклассовой классификации строится с применением стратегии «один против всех» (One vs All): вычисляется AUC каждого класса по сравнению с остальными.

Как и любой алгоритм машинного обучения, выбранный для реализации метод имеет параметр, настройка которого напрямую влияет на качество модели. Для KNN таким параметром является  $k$ , задающий число «соседей». В данном исследовании были применены значения для параметра  $k$  от 2 до 16 для каждой из трех выборок. Наблюдалось, что с увеличением значения данного параметра процесс классификации становился слишком грубым: внутренние связи и особенности анализируемого набора данных не улавливались моделью.

Оценка значений метрик, отраженных в таблице 4, является субъективной, так как каждая задача имеет свою специфику и приоритеты. Невозможно дать каких-то четких гарантий и определить, какая из метрик лучше, выбирать и отдавать предпочтение стоит исходя из того, какой класс необходимо определить точнее. В нашем исследовании класс бетона В40 является предпочтительным, так как получить данный класс в производственных условиях значительно сложнее.

Согласно таблице 4 при балансировке данных методом оверсэмплинга (выборка №3) получены наилучшие метрики при определении класса В40. Метрика Precision, показывающая количество истинно положительных исходов из всего набора положительных меток, равна 0.91, в то время как данное значение принимает-

ся равным 0.83 и 0.58 для выборок №1 и №2 соответственно. Важность этой метрики определяется тем, насколько высока для рассматриваемой задачи «цена» ложно положительного результата. Так как класс бетона предполагает максимальную прочность, которой достигает материал, то следует максимизировать данное значение.

Оценка Recall определяет количество истинно положительных среди всех меток класса, которые были определены как «положительные», она равняется 0.80 для выборки №3. F-мера является хорошим кандидатом на формальную метрику оценки качества классификатора, так как сводит к одному числу две другие основополагающие метрики: точность и полноту. Значение F-меры для класса В40 для выборки 3 равно 0.85.

Метрика Accuracy для выборки №3 на тестовой выборке лучше, по сравнению с другими выборками на фоне незначительного отставания на обучающей выборке.

Наглядная оценка качества алгоритмов по ROC-кривым позволяет увидеть, что площадь под кривыми значительно больше для каждого из классов при использовании выборки №3, а значит и точность классификации выше.

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что решение задачи классификации бетона методом  $k$ -ближайших соседей в условиях несбалансированности классов стоит осуществлять на выборке, сбалансированной с помощью метода оверсэмплинга. По сравнению с балансировкой выборки методами вероятностного сэмплинга и андерсэмплинга данный метод позволил добиться лучших результатов при определении наиболее значимого класса бетона В40. Данный метод балансировки позволил увеличить исходный набор данных с сохранением внутренней логики и связей между признаками и классами.

Перспективные решения исследовательских вопросов для дальнейшего рассмотрения, которые могут возникнуть из текущего исследования, связаны с расширением эмпирического набора данных и увеличением классов, а также оптимизацией других параметров модели машинного обучения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алисултанова Э.Д. Технологии машинного обучения в бизнесе на основе нейронных сетей/Э.Д. Алисултанова, У.Р. Тасуев, Н.А. Моисеенко // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2021. Т. 17. №2 (24). С. 5-10. DOI 10.34708/GSTOU.2021.68.10.001. EDN PJTBXY.
2. Газаров А.Р. Преимущества использования искусственного интеллекта в сфере строительства // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. №4. С. 136-139. EDN DZQOPN.
3. Колчин В.Н. Специфика применения технологии «искусственного интеллекта» в строительстве/В.Н. Колчин // Инновации и инвестиции. 2022. №3. С. 250-253. EDN JJLECU.
4. Михайлова Е.В. Искусственный интеллект как инструмент оптимизации ресурсных графиков/Е.В. Михайлова, В.В. Савина, И.М. Савин // Строительное производство. 2022. №2. С. 52-56. DOI 10.54950/26585340\_2022\_2\_52. EDN AODBGs.
5. Обрубова В.Д. Несбалансированность классов при решении задачи классификации пользователей социальных сетей по профессиональной ориентации/В.Д. Обрубова, М.И. Озерова // Национальная Ассоциация Ученых. 2021. №68-2. С. 41-43. DOI 10.31618/pas.2413-5291.2021.2.68.449. – EDN SUPQGS.
6. Петухов М.В. Конкурентные преимущества применения искусственного интеллекта в строительстве: снижение затрат, сроков и обеспечение качества строительства/М.В. Петухов // Экономика и предпринимательство. 2021. №8 (133). С. 1129-1135. DOI 10.34925/EIP.2021.133.8.217. EDN LDBBNI.
7. Старовойтов В.В., Голуб Ю.И. Об оценке результатов классификации несбалансированных данных по матрице ошибок // Информатика. 2021. Т. 18. №1. С. 61-71. DOI 10.37661/10.37661/1816-0301-2021-18-1-61-71. EDN GRBCSI.

## SOLUTION OF THE PROBLEM OF CLASSIFICATION OF CONCRETE BY THE K-NEAREST NEIGHBOR METHOD UNDER UNBALANCED CLASSES

© S. A. Ivanchenko, I. F. Razveeva, G. S. Onore

*DSTU, Rostov-on-Don, Russia*

In this paper, we solve the problem of classifying concrete using a supervised machine learning algorithm (k-nearest neighbor method) under conditions of class imbalance. The initial data set for applying the method is a table containing the results of a series of experimental compositions of various classes of concrete: B30, B35 and B40. Samples were made in compliance with the requirements of GOST 10180 "Concrete. Methods for determining the strength of control samples. In order to avoid the "skew" of the model towards the B30 majority class, data balancing was applied using probabilistic sampling, undersampling and oversampling. The accuracy of the models is shown depending on the parameter k, which specifies the number of "neighbors" that will be used in the classification. It was determined that the best way to balance data is the oversampling method, which showed high values of the quality of the classification model when determining the B40 class, the definition of which is a priority.

**Keywords:** machine learning, classification, k-nearest neighbors, probability sampling, undersampling, oversampling, concrete, concrete class.

## REFERENCES

1. Alisultanova, E. D. Tasuev, U. R. and Moiseenko, N. A. (2021). 'Machine learning technologies in business based on neural networks'. *Herald of GSTOU. Technical sciences*. V. 17. №2 (24), pp. 5-10. DOI: 10.34708/GSTOU.2021.68.10.001. EDN PJTBXY.
2. Gazarov, A. R. (2020). 'Benefits of using artificial intelligence in the construction industry'. *Proceedings of the Tula State University. Technical sciences*. №4, pp. 136-139. EDN DZQOPN.

3. Kolchin, V. N. (2022) 'The specifics of the use of "artificial intelligence" technology in construction'. *Innovations and investments*. №3, pp. 250-253. EDN JJLECU.
4. Mikhailova, E.V. Savina V.V., Savin I.M. (2022). 'Artificial intelligence as a tool for optimizing resource schedules'. *Construction industry*. №2, pp. 52-56. DOI: 10.54950/26585340\_2022\_2\_52. EDN AODBGS.
5. Obrubova, V. D., Ozerova, M. I. and Ozerova, M. I. (2021). Class imbalance in solving the problem of classifying social network users by vocational orientation, National Association of Scientists. №68-2, pp. 41-43. DOI 10.31618/nas.2413-5291.2021.2.68.449. EDN SUPQGS.
6. Petukhov, M. V. (2021). Competitive advantages of using artificial intelligence in construction: reducing costs, deadlines and ensuring the quality of construction. *Economics and Entrepreneurship*. №8 (133), pp. 1129-1135. DOI: 10.34925/EIP.2021.133.8.217. EDN LDBBNI.
7. Starovoitov, V. V. and Golub, Yu. (2021). 'On the evaluation of the results of the classification of unbalanced data by the error matrix' *Informatics*. V. 18. № 1, pp. 61-71. DOI: 10.37661/10.37661/1816-0301-2021-18-1-61-71. EDN GRBCSI.



## САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ БЕТОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ ЭФИРОВ ПОЛИАРИЛОВ И ПОЛИКАРБОКСИЛАТОВ

© С-А. Ю. Муртазаев<sup>1,3</sup>, С. Г. Шеина<sup>2</sup>, И. С-А. Муртазаев<sup>1,3</sup>, Д. А. Межидов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

<sup>2</sup>ДГТУ, Ростов-на-Дону, Россия

<sup>3</sup>КНИИ им. Х. И. Ибрагимова РАН, Грозный, Россия

Статья посвящена актуальной проблеме проектирования рецептур самоуплотняющихся бетонов (СУБ) на основе использования тонкомолотых добавок-микронаполнителей природного и техногенного происхождения. Представлены результаты проведенных исследований по разработке составов СУБ-бетонов не высокой вязкости и достаточной подвижности с использованием микронаполнителя из известняка, тонкомолотого кирпичного боя и суперпластификаторов на основе эфиров полиарилов и поликарбоксилатов. Исследовано влияние типа и дозировки добавки на технологические и физико-механические свойства бетонного композита.

**Ключевые слова:** бетонный композит, самоуплотняющиеся бетоны, СУБ-бетон, суперпластификатор, микронаполнители, природное и техногенное сырье, прочность бетона.

**Формат цитирования:** Муртазаев С-А. Ю., Шеина С. Г., Муртазаев И. С-А., Межидов Д. А. Самоуплотняющиеся бетоны с использованием химических добавок на основе эфиров полиарилов и поликарбоксилатов // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIV, № 1 (31). С. 88-95. DOI: 10.34708/GSTOU.2023.74.53.009

Как известно, в процессе сноса и разборки зданий и сооружений образуются многомиллионные объемы строительного мусора в виде бетонного лома и кирпичного боя, деревянных, металлических и пластиковых отходов. Ежегодно в России образуются сотни миллионов тонн строительных отходов, рециклинг которых находится на уровне 5-15%. Несложно предположить, что это весьма негативно сказывается на состоянии окружающей среды [1-3].

При этом потенциал использования вторичных сырьевых ресурсов до настоящего времени явно недооценен, учитывая, что они содержат в себе ранее произведенные инвестиционные и энергетические затраты, рециклинг которых не требует инвестирования в разработку карьера и, во многих случаях, на переработку сырья, и поэтому априори должны быть намного дешевле, в сравнении с себестоимостью аналогичных природных ископаемых [4, 5].

Строительство является важнейшей отраслью в современном экономическом устрой-

стве любого государства без относительности уровня развития страны. При этом нарастающие темпы возведения зданий и сооружений диктуют потребность в разработке современных технологий их строительства, новых материалов, полуфабрикатов и изделий, а также расширения парка и эффективности работы строительных машин и механизмов. Без такого подхода сложно представить строительство современных высотных комплексов, уникальных зданий и сооружений, при возведении которых используются строительные композиты с уникальными технологическими, физико-механическими и эксплуатационными свойствами. К строительным композитам с набором свойств, отвечающим вышеуказанным требованиям, в первую очередь относятся самоуплотняющиеся бетоны (СУБ) с минеральными наполнителями природного или техногенного происхождения. СУБ – это бетоны, которые без воздействия дополнительной внешней силы, самостоятельно, за счет собственной массы сохраняют подвижность, освобождаясь от содержащегося в нем воздуха и плотно за-

полняя объем пространства между арматурными элементами конструкций и внутренней поверхностью опалубки.

Такое поведение СУБ-бетонов стало возможным благодаря использованию в их рецептуре тонкомолотых добавок-микронаполнителей, которые оказывают влияние на технологические свойства (вязкость, подвижность, водопотребность смеси), на характер структурообразования бетонной смеси и набора прочности бетона [6-9].

В этой связи использование вторичных материалов сноса и разборки зданий и сооружений в производстве строительных материалов и изделий в целом, и отсеков дробления бетонного лома как минерального наполнителя для получения СУБ-бетона в частности, становятся одним из важных условий для проектирования бетонных композитов, отвечающих современным требованиям как экономического, так и экологического характера. Кроме того, сырье из твердых отходов разборки объектов строительства можно и нужно использовать как заполнители (мелкий и крупный), так и наполнители (микро и макро) для бетонов [1, 3, 10].

Одним из важных показателей подвижности СУБ-бетонов, влияющим на его перекачиваемость бетононасосом и на качество формообразования бетона в опалубке, является вязкость бетонной смеси, которая характеризуется временем расплыва бетона до радиуса 500 мм и обозначается как  $t_{500}$ .

Большинство СУБ-бетонов, применяемых для устройства конструктивных элементов зданий и сооружений, получены с использованием гипер- и суперпластификаторов на основе поликарбоксилатных эфиров (ПКЭ). Такие СУБ обладают достаточно высокой вязкостью при хороших значениях показателя расплыва скорости. При этом, как показывает опыт [6, 7, 11-13], ПКЭ-добавки очень требовательные к качеству используемых материалов, особенно микронаполнителей. Для решения обозначенных проблем требуется изучение влияния суперпластификаторов других групп, нежели ПСЭ, например, суперпластификаторов на основе эфиров полиарила.

В настоящей работе представлены результаты проведенных исследований по разработке составов СУБ-бетонов невысокой вязкости и достаточной подвижности с использованием микронаполнителя из известняка, тонкомолотого кирпичного боя и суперпластификаторов различных групп.

Для проведения экспериментальных исследований применялся портландцемент (ПЦ) М500 Д0 Чири-Юртовского цементного завода. В качестве заполнителей были использованы щебень из гранит-диабазовых пород фракций 5-10 Алагирского месторождения и песок кварцевый с  $M_{кр} = 1,8$  Червленского месторождения. В качестве мелкодисперсных наполнителей были использованы известняковая мука и мука из кирпичного боя. Как активная минеральная добавка применялся микрокремнезем конденсированный неуплотненный – МК-85 Новолипецкого металлургического комбината. В качестве химических добавок использовались суперпластификаторы MasterPolyHeed 3043 и MasterGlenium 115 производства BASF Construction Solutions (Trostberg, Германия).

В соответствии с методикой отбора проб в присутствии минеральных наполнителей [14] получены составы бетонной смеси, с использованием которых определены зависимости вязкости и диаметра расплыва бетонной смеси от расхода суперпластификатора. На основании полученных результатов представлены значения рациональных дозировок супер- и гиперпластификаторов, необходимые для получения самоуплотняющихся бетонных смесей по показателю расплыва конуса SF-1 и VS1/VF1 по вязкости (таблица 1).

При дозировке добавки MasterPolyHeed 3043 (МРН) в количестве 1,2% от массы цемента и  $B/C=0,43$  показатель расплыва конуса составил 610 мм, при увеличении добавки на 0,6% и уменьшении  $B/C$  до 0,39, показатель расплыва конуса снизился до 570 мм при одинаковом расходе микрокремнезема. Как не трудно заметить, наблюдается незначительное изменение показателя расплыва конуса, при сохранении вязкости бетонной смеси ( $t_{500}$ ) на уровне 4 секунд, что свидетель-

ствуется о целесообразности применения бетонных смесей в диапазоне значений В/Ц от 0,39 до 0,43. Кроме того, предложенные составы с минеральным наполнителем из известняка отвечают вышеуказанным классам по показателю распыла конуса и вязкости (SF-1 и VS1/VF1 соответственно).

Анализ данных таблицы 2 позволяет сделать следующие выводы: использование добавки MasterGlenium 115 (MG) при В/Ц = 0,43 при прочих равных условиях позволяет получать бетонные смеси класса SF-2. При увеличении добавки на 0,6% и уменьшении В/Ц с 0,43 до 0,39 показатель распыла конуса снижается до 620 и при этом понижается класс бетонной смеси по подвижности до SF-1. Сравнение вязкости составов с добавкой MasterPolyHeed 3043 и MasterGlenium (таблицы 1) показывает увеличение вязкости с показателя 4 до 5,5 секунды, но при этом значение значительно ниже

нормативного (8 секунд) для класса бетонной смеси по вязкости VS1/VF1.

Далее были исследованы составы, в которых известняк был заменен на тонкомолотый кирпичный.

Полученные данные свидетельствуют о том, что замена известняка на тонкомолотый кирпичный бой (таблицы 3) отражается на текучести бетонной смеси. Если в случае использования известняка с добавкой MasterPolyHeed 3043=1,2% при В/Ц=0,43 распыл конуса составлял 600 мм, то и при использовании кирпичного боя средний диаметр распыла составил 600 мм. А с добавкой MasterGlenium 115=1,2% при том же В/Ц=0,43 распыл конуса бетонной смеси составил 652 мм. Так же вязкость у состава с MasterPolyHeed 3043 меньше, значение  $t_{500}$  составило 4 секунды, тогда как у смеси с MasterGlenium этот показатель 5 секунд.

Таблица 1 – Показатели распыла с использованием добавки MasterPolyHeed 3043 и МК-85 в зависимости от В/Ц и применяемого минерального наполнителя

№		1	2
В/Ц		0,43	0,39
Расход, кг на 1 м <sup>3</sup>	Цемент	480	480
	Песок	870	870
	Щебень	840	840
	Вода	207	188
	Известняк	80	80
	Микрокремнезем МК-85	25	25
Расход MasterPolyHeed 3043, % от массы цемента		1,2	1,8
Диаметр распыла конуса, мм		600	570
Вязкость $t_{500}$ , с		4	4

Таблица 2 – Показатели распыла с использованием добавки MasterGlenium и МК-85 в зависимости от В/Ц и применяемого минерального наполнителя

№		1	2
В/Ц		0,43	0,39
Расход, кг на 1 м <sup>3</sup>	Цемент	480	480
	Песок	870	870
	Щебень	840	840
	Вода	207	188
	Известняк	80	80
	Микрокремнезем МК-85	25	25
Расход MasterGlenium 115, % от массы цемента		1,2	1,8
Диаметр распыла конуса, мм		670	620
Вязкость $t_{500}$ , с		5,5	5

Таблица 3 – Показатели распыла с использованием добавок MasterPolyHeed 3043, MasterGlenium 115 и МК-85 с наполнителем из кирпичного боя

№		1	1
В/Ц		0,43	0,43
Расход, кг на 1 м <sup>3</sup>	Цемент	480	480
	Песок	870	870
	Щебень	840	840
	Вода	207	207
	Кирпичный бой	80	80
	Микрокремнезем	25	25
Расход MasterPolyHeed 3043, % от массы цемента		1,2	-
Расход MasterGlenium 115, % от массы цемента		-	1,2
Диаметр распыла конуса, мм		600	652
Вязкость $t_{500}$ , с		4	5



Рис. 1. Распыл состава при МРН= 1,2% и В/Ц=0,43

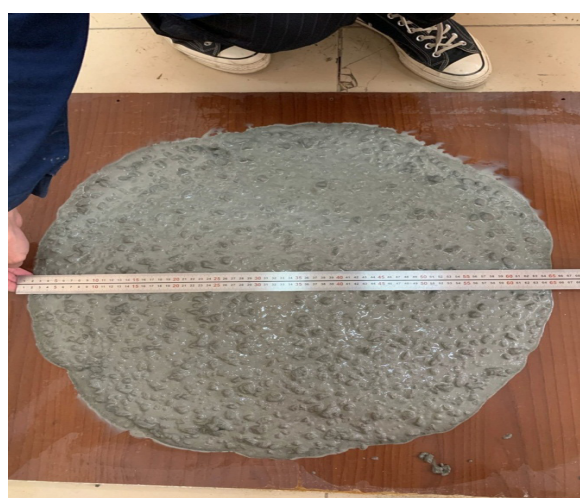


Рис. 2. Распыл состава МГ= 1,2% и В/Ц=0,43

Это объясняется тем, что при применении суперпластификатора MasterPolyHeed 3043 на основе полиарилловых эфиров требования к качеству инертных добавок не такие высокие, как у суперпластификаторов на основе поликарбонатных эфиров – MasterGlenium 115.

Далее нами было изучено влияние минеральных и химических добавок на прочностные показатели самоуплотняющегося бетона, а также было исследовано влияние замены молотого известняка на тонкомолотый кирпичный бой на физико-механические данные бетонного композита. При этом содержание суперпластификатора принималось в диапазоне 1,2-1,8% от массы цемента, а микрокремнезема – 5,2% (таблица 4).

Как показали результаты проведенных экспериментов, исследуемые составы высокопрочных самоуплотняющихся бетонов отличаются высокими темпами набора прочности (рисунок 4) – для различных составов предел прочности при сжатии в возрасте от 1 до 7 суток соответственно составил 40-45 и 81-87% от проектной прочности.

Исследования влияния типа и дозировки добавки на прочность бетонного композита показали (рисунок 5), что если при дозировке добавки MasterPolyHeed 3043 1,2% (В/Ц=0,43) показатель прочности составил 53,8 МПа, то при использовании добавки MasterGlenium 115 при идентичных дозировках конечная прочность стала выше и составила 56,4 МПа.

Таблица 4 – Составы исследованных бетонов

№		1	2	3	4	5	6
В/Ц		0,43	0,39	0,43	0,39	0,43	0,43
Расход, кг на 1 м <sup>3</sup>	Цемент	480	480	480	480	480	480
	Песок	870	870	870	870	870	870
	Щебень	840	840	840	840	840	840
	Вода	207	188	207	188	207	207
	Известняк	80	80	80	80		
	Микрокремнезем	25	25	25	25	25	25
	Кирпичный бой					80	80
MasterPolyHeed 3043, % от Ц	1,2	1,8			1,2		
MasterGlenium 115, % от Ц			1,2	1,8		1,2	
Плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	2389	2426	2395	2440	2260	2272	

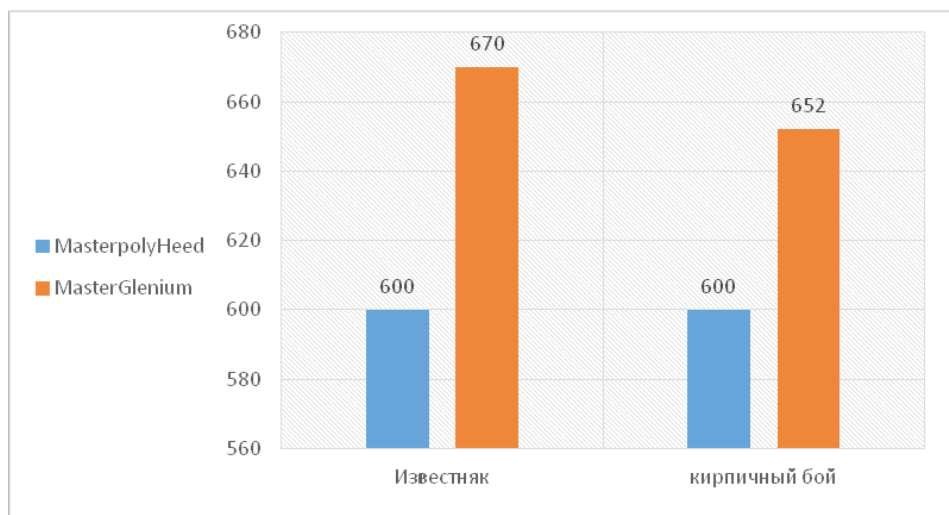


Рис. 3. Зависимость расплыва конуса от типа добавки и микронаполнителя

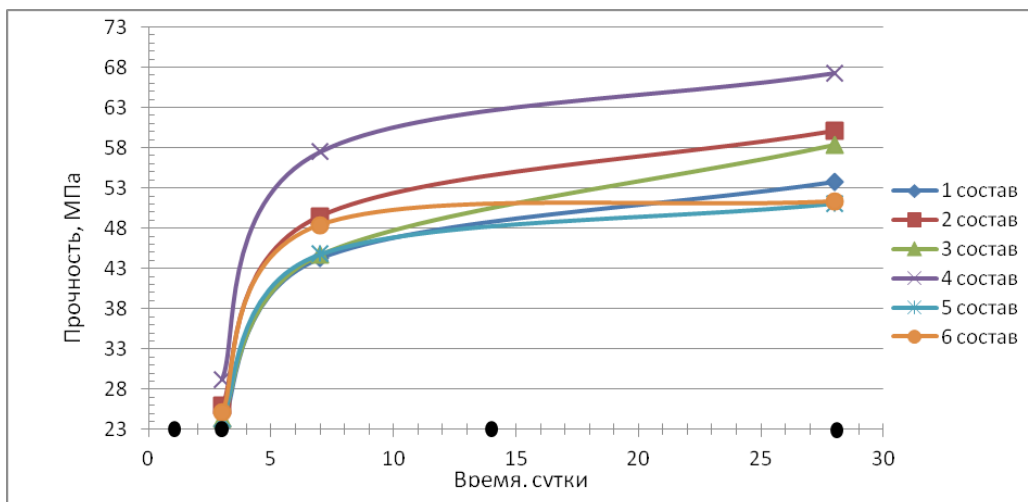


Рис. 4. Кинетика набора прочности (1-6 составы по таблице...)

Похожие результаты были получены при введении этих же добавок в количестве 1,8%, но при В/Ц=0,39. Если с MasterPolyHeed 3043 прочность составила 60,1 МПа, то с MasterGlenium 115-67,3 МПа.

Исследование влияния инертного микронаполнителя в составе самоуплотняющихся смесей показало, что использование вместо известняка тонкомолотого кирпичного боя с добавками MasterPolyHeed 3043 и MasterGlenium 115 приводит к уменьшению прочности соответственно до 53,1 и 53,3 МПа. Но если в случае с MasterGlenium 115 этот показатель сильно уменьшился (на 5,1 МПа), то с MasterPolyHeed 3043 разница составила только 0,7 МПа. Также уменьшились и показатели плотности бетонной смеси (2440 и 2272 кг/м<sup>3</sup> соответственно).

Полученные данные подтверждаются микрофотографиями образцов (рисунок 6).

Таким образом, разработаны составы СУБ-бетонов с использованием химических добавок на основе эфиров полиариллов и поликарбоксилатов.

Проведенными исследованиями установлено, что показатели прочности составов с микронаполнителем из известняка и суперпластификатора MasterGlenium 115 выше, чем с MasterPolyHeed 3043. Замена известняка на тонкомолотый кирпичный бой в соста-

ве бетонного композита по-разному влияет на показатели прочности, что указывает на необходимость разных подходов к рецептуре бетонных композитов с суперпластификаторами на основе эфиров полиариллов (MasterPolyHeed 3043) и на основе поликарбоксилатных эфиров (MasterGlenium 115). Если у составов с добавкой полиарилового суперпластификатора наблюдаются одинаковые показатели, то с добавкой на поликарбоксилатах при замене микронаполнителя этот показатель значительно уменьшился.

Доказано, что параметры удобоукладываемости разработанных СУБ-бетонов зависят от вида и типа применяемого пластификатора, минерального наполнителя различного характера и показателя водоцементного соотношения. Комплексное влияние этих параметров в большей степени сказывается на показателе расплыва конуса, меняя класс бетонной смеси по подвижности. Количественные показатели вязкости хотя и меняются, но не изменяют класс по вязкости, неизменно оставаясь меньше 8 секунд.

Установлено, что применение суперпластификаторов на основе полиарилловых эфиров является более эффективным решением для получения СУБ-бетонов с требуемыми реологическими свойствами.

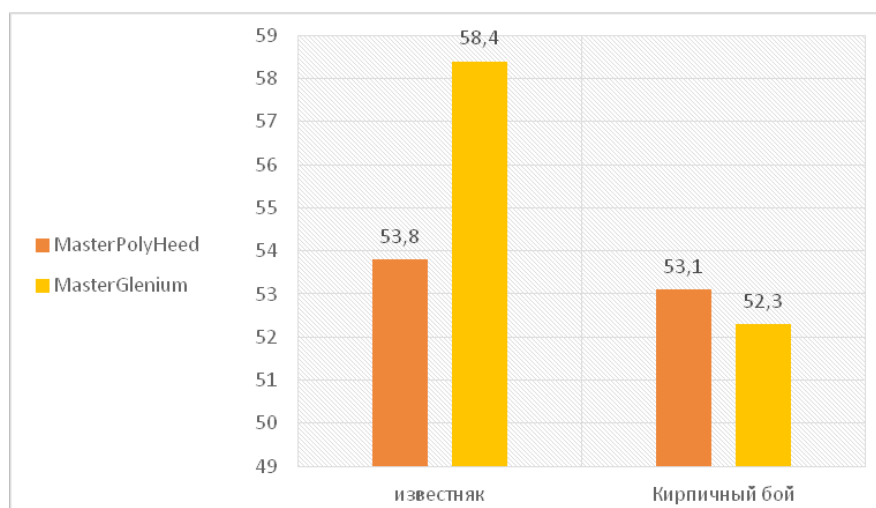
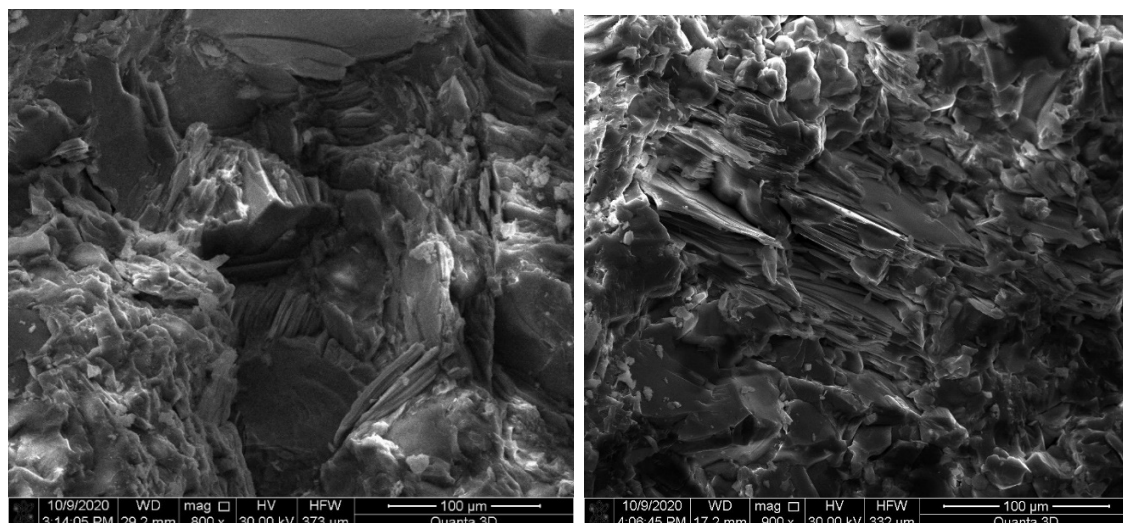


Рис. 5. Зависимость прочности от вида суперпластификатора и типа микронаполнителя



Образец состава № 6

Образец состава № 4

Рис. 6. Микрофотографии образцов

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Олейник С.П. Строительные отходы при реконструкции зданий и сооружений // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». Том 3. № 2. 2016.
2. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М. Ш., Омаров А. О. Высокопрочные бетоны на основе использования вторичных техногенных ресурсов // Вестник ДГТУ. Технические науки. 2018.
3. Баженов Ю. М. Мелкозернистые бетоны из вторичного сырья для ремонта и восстановления поврежденных зданий и сооружений / Ю. М. Баженов, Д. К-С. Батаев, С-А. Ю. Муртазаев [и др.]. Грозный, 2011. 342 с.
4. Баженов Ю. М. Бетон: технологии будущего // Строительство: новые технологии – новое оборудование. М.: ИД «Панорама», 2009. № 8. С. 29-32.
5. Алиев С. А., Муртазаева Т. С., Сайдумов М. С., Саламанова М. Ш. Самоуплотняющиеся бетоны для устройства монолитных сейсмостойких конструкций высотных зданий и сооружений // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016.
6. Европейский нормативный документ по самоуплотняющемуся бетону: DAFStb-Richtlinie Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie). Ausgabe November 2003.
7. Hillemeier B., Buchenau G., Herr R., Hutil R., Klubendorf St., Schubert K.: Spezialbetone Betonkalender // Ernst & Sohn. 2006. № 1. С. 534-549.
8. Каприелов С. С. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях. Ч. II / С. С. Каприелов [и др.] // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 9-13.
9. Баженов Ю. М., Воронин В. В., Алимов Л. А., Бахрах А. М., Ларсен О. А., Соловьев В. Н., Нгуен Дык Винь Куанг. Высококачественные самоуплотняющиеся бетоны с использованием отходов сжигания угля // Вестник МГСУ. 2017. № 12.
10. Батраков В. Г. Модификаторы бетона, новые возможности // Материалы I Всероссийской конференции по бетону и железобетону. М., 2001. С. 184-197.
11. Баженов Ю. М., Демьянова В. С., Калашиников В. И. Модифицированные высококачественные бетоны: Научное издание. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.
12. Лермит Р. Проблемы технологии бетона. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. 296 с.
13. Комохов П. Г., Шангина Н. Н. Модифицированный цементный бетон, его структура и свойства // Цемент. 2002. № 1-2. С. 43-46.
14. ГОСТ Р 57808-2017/EN 12350 Испытания бетонной смеси.

## SELF-COMPASSING CONCRETE USING CHEMICAL ADDITIVES BASED ON POLYARYL AND POLYCARBOXYLATE ETHERS

© S. A. Yu. Murtazaev<sup>1,3</sup>, S. G. Sheina<sup>2</sup>, I. S-A.<sup>1</sup>Murtazaev<sup>3</sup>, D. A. Mezhidov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

<sup>2</sup>DSTU, Rostov-on-Don, Russia

<sup>3</sup>Kh. Ibragimov Complex Institute of the RAS, Grozny, Russia

The article is devoted to the actual problem of designing formulations of self-compacting concrete (SUB) based on the use of finely ground additives-micro-fillers of natural and man-made origin. The results of the conducted research on the development of compositions of SUB-concretes of low viscosity and sufficient mobility using a micro-filler made of limestone, finely ground brick and superplasticizers based on polyaryl esters and polycarboxylates are presented. The influence of the type and dosage of the additive on the technological and physico-mechanical properties of the concrete composite is investigated.

**Keywords:** concrete composite, self-compacting concretes, SCC-concrete, superplasticizer, micro-fillers, natural and man-made raw materials, concrete strength.

### REFERENCES

1. Oleinik, S. P. (2016). 'Construction waste during the reconstruction of buildings and structures'. Online magazine "Waste and Resources". Volume 3, №2.
2. Murtazaev, S-A. Yu., Omarov, A. O. and Salamanova, M. Sh. (2018). 'High-strength concretes based on the use of secondary technogenic resources'. Vestnik DSTU. Technical sciences.
3. Bazhenov, Yu.M. Bataev, D. K-S. and Murtazaev, S. A. Y. (2011). Fine-grained concretes from secondary raw materials for repair and restoration of damaged buildings and structures. Grozny, 342 p. 4. 4. Bazhenov, Yu.M. (2009). 'Concrete: technologies of the future'. Construction: new technologies – new equipment. Panorama Publishing House, №8, Moscow, pp.29 32.
5. Aliyev, S. A., Murtazayeva, T. S., Saidumov, M. S. and Salamanova, M. Sh. (2016). 'Selfcompacting concrete for the construction of monolithic earthquake-resistant structures of high-rise buildings and structures'. Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical sciences.
6. European regulatory document on self-compacting concrete: DAfStb-Richtlinie Selbsverdichtender Beton (SVB-Richtlinie). Ausgabe November 2003.
7. Hillemeier, B., Buchenau, G., Herr, R., Huttl, R., Klubendorf, St. and Schubert, K. (2006). 'Spezialbetone', Betonkalender, Ernst & Sohn, №1, pp.534 549.
8. Kapielov, S. S. (2008) 'Modified high-strength concretes of classes B80 and B90 in monolithic structures'. Part II. *Building materials*. №3, pp.9-13.
9. Bazhenov, Yu. M., Voronin, V. V., Alimov, L. A., Bakhrach, A. M., Larsen, O. A., Soloviev, V. N., Nguyen, Duc Vinh Quang (2017). High-quality self-compacting concrete using coal combustion waste. *Bulletin of MGSU*. №12.
10. Batrakov, V. G. (2001). Concrete modifiers new possibilities // Materials of the I All-Russian Conference on Concrete and Reinforced Concrete, Moscow, pp. 184-197.
11. Bazhenov, Yu.M., Demyanova, B. C. and Kalashnikov, V. I. (2006). Modified high-quality concrete/Scientific edition. M.: Publishing House of the Association of Construction Universities, 368 p.
12. Lermitt, R. (2007). Problems of concrete technology. LKI Publishing House, 296 p.
13. Komokhov, P. G. and Shangina, N. N. (2002). 'Modified cement concrete, its structure and properties' *Cement*. №1-2, pp. 43-46.
14. GOST R 57808-2017/EN 12350 Testing of concrete mixture.



## ВОЗМОЖНОСТИ МОДИФИКАЦИИ ВЯЖУЩИХ СИСТЕМ МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

© С-А. Ю. Муртазаев<sup>1, 2</sup>, М. Ш. Саламанова<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

<sup>2</sup>КНИИ РАН им. Х. И. Ибрагимова, Грозный, Россия

В работе приводятся результаты исследований по получению высокоактивного вяжущего с использованием минеральных порошков наполнителей, позволяющие расширить представления о закономерностях протекания процессов гидратации цемента, формирования структуры и кристаллогидратов цементного камня. Залогом набора заданной прочности и эксплуатационной надежности бетонных композитов является скрытая энергия портландцементного клинкера, непрореагировавшая доля активной составляющей, которая способствует упрочнению жесткости цементного камня за счет гидратационных преобразований. Представлены зависимости изменения удельной поверхности добавки от продолжительности измельчения в вибромельнице. Исследована активность поверхности минеральных порошков.

**Ключевые слова:** высокоактивное вяжущее, вулканический пепел, опока, прочность, жесткость, добавки, минеральный порошок, вяжущие вещества.

**Формат цитирования:** Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М. Ш. Возможности модификации вяжущих систем минеральными добавками // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIV, № 1 (31). С.96-102. DOI: 10.34708/GSTOU.2023.21.24.010

Среди всего многообразия строительных композитов бетон и железобетон заслуженно занимают позиции самого востребованного и массового в строительстве материала. Годовой мировой объем производства этой продукции изменяется в диапазоне 10-12 миллиардов кубических метров. Ежегодно возрастающий спрос на эти многофункциональные композиты определяет высокие требования к его качеству, но учитывая проблемы глобального характера, связанные с ограниченностью природных ресурсов, с декарбонизацией экономики и поиском альтернативных вяжущих материалов, возникает необходимость в модернизации рецептур и технологии цементных композиций с использованием вторичного и техногенного сырья, позволяющего получать бетоны с качественными показателями, превышающими существующие аналоги [1-4].

Но проблема получения и применения качественных композитов с гарантированными показателями прочности и долговечности является значимой и актуальной, и несмотря на достижения науки в области современного бетоноведения, по сей день проводятся мно-

гочисленные исследования систем С – S – H, С – A – H и С – A – F – H, позволяющие расширить представления о закономерностях протекания процессов гидратации цемента, формирования структуры и кристаллогидратов цементного камня. Залогом набора заданной прочности и эксплуатационной надежности бетонных композитов является скрытая энергия портландцементного клинкера, непрореагировавшая доля активной составляющей способствует упрочнению жесткости цементного камня за счет гидратационных преобразований. А если вводить в композицию определенную долю активных минеральных добавок, как на стадии приготовления вяжущего, так и в качестве компонента бетонной или растворной смеси, то это позволит связать «балластную» гидролизную известь в труднорастворимые гидратные соединения силикатов кальция [5-7].

В связи с этим получение высокоактивных вяжущих с использованием реакционных тонкодисперсных добавок позволит повысить качество цементных композитов и достичь надежные на долгие годы показатели прочно-

сти и долговечности, что является актуальной научной и прикладной задачей. На рисунке 1 представлена классификация минеральных порошкообразных добавок в зависимости от энергетического потенциала активных центров кристаллизации на их поверхности [1].

Тонкодисперсные добавки, обладая размерностью близкой к коллоидной, заполняют межзерновое пространство, обволакивают частицы портландцемента, в результате проявляется ультранаполняющий эффект, приводящий к увеличению объемной концентрации порошка, улучшению поровой структуры и синтезу кристаллогидратов цементного камня [4]. А благодаря наличию адсорбционных активных центров кристаллизации на поверхности твердых тел, интенсифицируются процессы контактообразования и формирования свойств [5, 7].

Доказано, что поверхность твердого материала обладает кислотными Льюиса и основными Бренстеда центрами кристаллизации, и проявление кислотно-основных свойств возможно только при условии наличия кислот и оснований, так как соединения, потенциально способные быть кислотой, становятся тако-

выми только в присутствии основания, и наоборот. Еще одним важным звеном в действии поверхностных свойств твердого тела можно считать образование новой поверхности, сформированной тонким измельчением и другими способами активации. И образование новых поверхностей сопровождается проявлением различных структурных неоднородностей на молекулярном уровне, зависящих от кристаллического строения минералов, взаимного расположения, состава и соотношения атомов на поверхности. Для создания совместимой системы «портландцемент – минеральный наполнитель», с прочными адгезионными связями, возможно только при условии, что свободная энергия поверхности добавки выше, чем зерен цемента. Для исследования активности добавок была проведена механоактивация материала.

Исследовались различные минеральные добавки, которые были приготовлены тонким измельчением горных пород осадочного и магматического происхождения и бетонного производственного брака. Бетонный брак образуется в большом количестве в данном регионе, в результате производства многопустотных



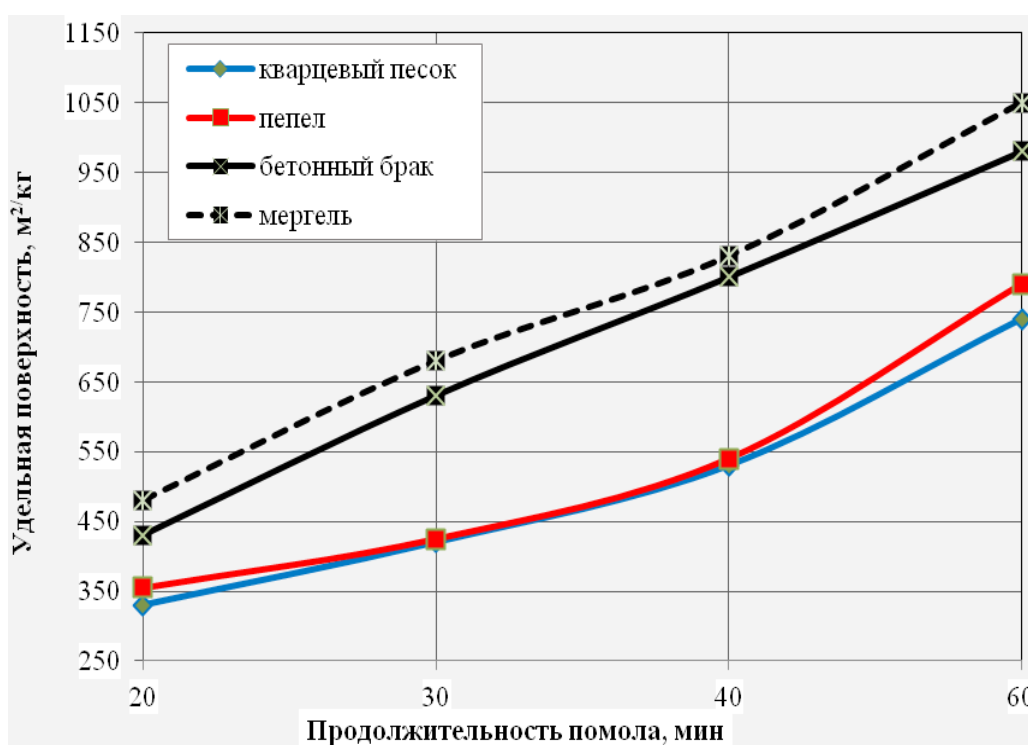
Рис. 1. Классификация минеральных добавок – порошков по энергетическому потенциалу

предварительно напряженных железобетонных плит покрытия и перекрытий, изготавливаемых стендовым безопалубочным непрерывным формованием методом экструдирования. Останки производственного бетонного лома скапливаются на территории завода, с последующим вывозом на свалки, но учитывая высокий класс проектного бетона В40, необходимо как с экологической, так и с технической стороны найти применение этому отходу. В качестве природных добавок исследовались достаточно распространенные в регионе породы, такие как высококварцевые пески, вулканический пепел и опока. Механическую активацию осуществляли на протяжении 60 минут в трубной вибромельнице ВМ – 20. В результате проведенного исследования установлена зависимость удельной поверхности минеральных порошков анализа (при помощи прибора ПСХ – 12) от продолжительности активации (рисунок 2).

Измельчение в трубной вибромельнице привело к получению минеральных порошков высокой степени дисперсности, о чем свиде-

тельствуют числовые значения удельных поверхностей на всех промежутках отбора проб. Наибольшей размолоспособностью характеризуется осадочная порода – опока, удельная поверхность которой составила  $1050 \text{ м}^2/\text{кг}$  через 60 минут измельчения. Химический состав опоки в % по массе:  $\text{MgO} = 1,10$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 5,47$ ;  $\text{SiO}_2 = 28,7$ ;  $\text{Na}_2\text{O} = 1,09$ ;  $\text{CaO} = 61,53$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2,12$ . Сравнительно невысокое содержание кварца содействовало процессу измельчения. Немного меньшие показатели удельной поверхности зафиксированы у порошков из бетонного брака, и объяснение этому сопоставимое увеличение на 18% кварца в содержании добавки. Химический состав бетонного брака в % по массе:  $\text{MgO} = 0,11$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 4,21$ ;  $\text{SiO}_2 = 40,5$ ;  $\text{Na}_2\text{O} = 0,19$ ;  $\text{CaO} = 52,6$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2,39$ .

Вулканический пепел и кварцевые пески труднее подвержены размолу, что обосновано соответствующим химико-минеральным составом, с преобладанием кварца. Химический состав вулканического пепла в % по массе:  $\text{MgO} = 0,20$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 13,57$ ;  $\text{SiO}_2 = 73,67$ ;  $\text{K}_2\text{O} = 6,00$ ;  $\text{CaO} = 1,79$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,52$ ;  $\text{TiO}_2 = 2,85$ ; ппп



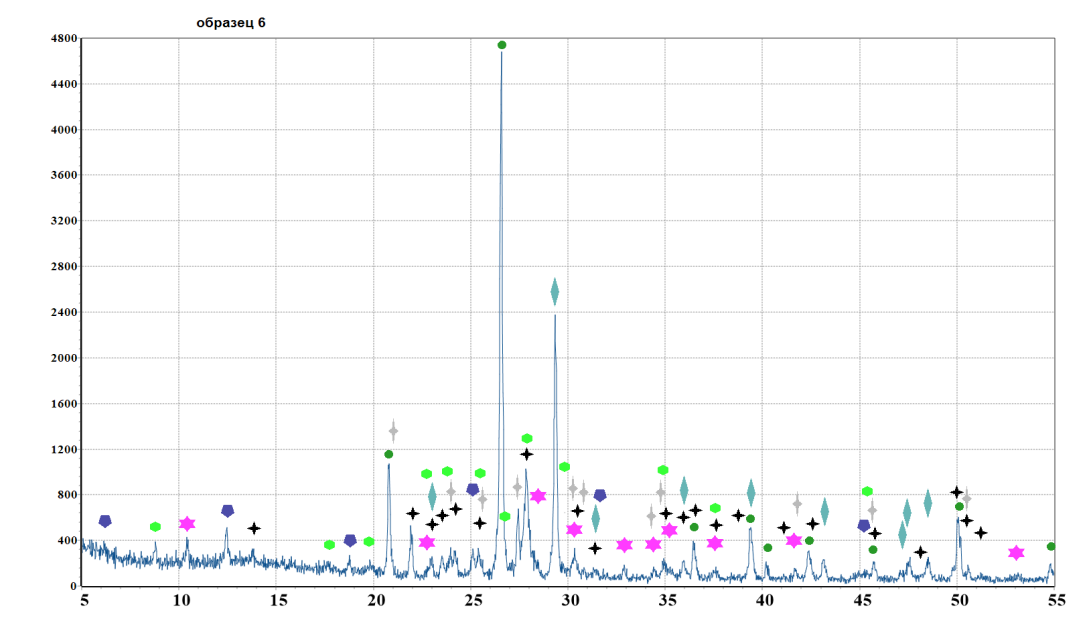
**Рис. 2.** Зависимость значения удельной поверхности добавки от измельчения в вибромельнице

= 0,40. Химический состав зерен кварцевого песка в % по массе: MgO = 6,32; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 14,99; SiO<sub>2</sub> = 73,83; K<sub>2</sub>O = 1,83; CaO = 0,60; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0,97; SO<sub>3</sub> = 0,14; TiO<sub>2</sub> = 1,32. Удельная поверхность полученных порошков изменялась в диапазоне 650-770 м<sup>2</sup>/кг через 1 час помола в вибромельнице. Наибольший интерес привлекли порошки из производственного бетонного брака, и связано это только с использованием отходов промышленности, но и с реализацией клинкерного фонда, законсервированного в плотной оболочке и требующего механичного вмешательства.

Для более детального исследования природы минеральных порошков, добавку из бетонного брака исследовали на дифрактометре «ARLX'TRA», использующем кинематическую схему Θ-Θ с горизонтальным расположением плоского образца. Использовано характеристическое излучение медного анода (длины волн CuKα1 1,5406 Å, CuKα2 1,5444 Å). Фазовый анализ выполнен с помощью

базы порошковых дифракционных данных PDF-2, выпуск 2006. По результатам рентгенофазового анализа в образце бетонного брака установлено присутствие кальцита, кварца, гидрослюда и слюды, сильно хлоритизированные темнокветные силикаты кальция, альбит. Наиболее яркие рефлексы принадлежат окристаллизованным кристаллам микроклина и плагиоклаза (рисунок 3). Присутствие силикатов кальция подтверждает эффективность добавки из бетонных остатков, являющихся дополнительным источником образования гидратированных силикатов кальция.

Для исследования количества брэнстедовских активных центров кристаллизации на поверхности минерального порошка по методике определения обменной емкости по отношению к ионам кальция был приготовлен насыщенный раствор гидроксида кальция, полученный смешиванием негашёной молотой извести с дистиллированной водой. Раствор хранился от 7 до 10 дней в плотно закрытом герметич-



**Рис. 3.** Дифрактограмма образца бетонного брака в сопоставлении с данными базы PDF-2.

Приведенные фазы сравнения: ● – кварц; ⬠ – хлорит (сильно хлоритизированные темнокветные силикаты); ⬡ – слюды и гидрослюды; ✕ – плагиоклаз (альбит – олигоклаз); ⬠ – микроклин; ⬠ – кальцит; ⬇ – портландит; ⬇ – гематит; ☆ – амфибол

ном сосуде при температуре 18-20°C. В течение нескольких дней определялась стабильность активности титрованием 0,1 н раствором соляной кислоты [5].

На следующем этапе навеску минерального порошка 1-2 г засыпали в коническую колбу, далее туда же помещали 40 мл насыщенного раствора гидроксида кальция. Емкость при этом должна быть плотно закрыта пробкой, чтобы препятствовать проникновению воздуха. Полученную смесь перемешивали в течение нескольких часов. Продолжительность перемешивания зависит от реакции обмена и тонкости помола порошка.

Далее раствор промывали дистиллированной водой и подвергали фильтрованию. В водные вытяжки добавляли индикатор – метилоранжевый, раствор окрашивался в желтый цвет, после этого титровали 0,1 н раствором соляной кислоты до тех пор, пока раствор не окрасился в розовый цвет. Разность объемов кислот израсходованной на титрование насыщенного раствора гидроксида кальция и раствора после взаимодействия с минеральным порошком определяет степень активности поверхности.

Активность центров кристаллизации вычисляют по формуле:

$$\frac{(V_1 - V_2) \cdot 0,1 \cdot 1000}{m} = [\text{мг} \cdot \text{экв} / \text{г}] \quad (1)$$

где  $V_1$  – объем кислоты, израсходованной на титрование 20 мл исходного раствора гидроксида кальция, мл;

$V_2$  – объем кислоты, израсходованной на титрование раствора после взаимодействия с минеральным порошком, мл;

$m$  – масса навески минерального порошка – наполнителя, г.

Далее определялся коэффициент активности минеральных добавок, для этого высушенную навеску сырья, измельченного до прохождения через сито с диаметром ячеек 0,315 мм, помещают в коническую колбу с раствором NaOH. Полученную суспензию перемешивают на встряхивающем столике в течение 10 мин., после чего подвергают тепловой обработке

в течение 2 ч. при 90°C в пропарочной камере или закрытой водяной бане. Термообработанную суспензию фильтруют, минеральный остаток трижды промывают дистиллированной водой, затем высушивают до постоянной массы и взвешивают.

Коэффициент активности кремнеземистого сырья рассчитывается по формуле:

$$K_a = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \quad (2)$$

где  $m_1$  – масса исходного сырья, г;

$m_2$  – масса высушенного минерального

остатка, г.

Коэффициент гидравлической активности минеральной добавки ( $\Gamma_{AMD}$ ) можно рассчитать по формуле:

$$\Gamma_{AMD} = \sqrt{\ln K_a} \quad (3)$$

где  $K_a$  – коэффициент активности минеральной добавки, %.

Результаты исследований показали, что поверхностная концентрация ионообменных центров минеральных порошков зависит от степени раскрытия дефектов, микродефектов, дислокаций на поверхности материала, изменяется она неравномерно и в определенной мере определяется и степенью дисперсности.

Следует отметить, что наибольшей активностью обладают минеральные порошки, полученные тонким измельчением бетонного брака и окремненной опоки, что обусловлено наличием на поверхностях материалов большого количества обменных центров, кислот и оснований по Бренстеду [5].

Таким образом, анализируя полученные результаты, можно констатировать, что соответствующий химико-минералогический состав, наличие ионообменных центров и высокий коэффициент активности способствуют повышению реакционной способности минеральных добавок, что важно для создания высокоактивного вяжущего, необходимого для организации монолитного высотного строительства с конструктивными элементами сложной герметической конфигурации.

Таблица 1 – Активность поверхности дисперсных порошков

№ п/п	Минеральный порошок	Коэффициент активности $K_a, \%$	Коэффициент гидравлической активности $\Gamma_{\text{AMD}}$	Количество активных центров кристаллизации, мг·экв/г	Удельная поверхность порошков, м <sup>2</sup> /кг
1	Кварцевый песок	23	1,76	22	610
2	Вулканический пепел	42	1,92	35	870
3	Опока	60	2,01	40	1150
4	Бетонный брак	71	2,38	53	960

## ЛИТЕРАТУРА

1. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М.Ш., Нахаев М.Р. Возможные пути альтернативного решения проблем в цементной индустрии // Строительные материалы. 2020. № 1-2. С.73-77. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77>.
2. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М.Ш., Сайдумов М.С., Исмаилова З.Х. Влияние активных центров поверхности на реакционную способность минеральных добавок // Научный журнал «Современная наука и инновации». 2017. №2 (18). С. 168-175.
3. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М.Ш. Перспективы использования термоактивированного сырья алумосиликатной природы // Приволжский научный журнал. 2018. №2 (Т. 46). С. 65-70.
4. Саламанова М.Ш., Нахаев М.Р., Исмаилова З.Х. Закономерности протекания процессов формирования структуры и прочности бесклинкерного вяжущего щелочной активации // Международный научно-исследовательский журнал «Строительные материалы и изделия». 2020. Т. 3. №1. С. 21-29. <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2020-3-1-21-29>.
5. Баженов Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны/Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашиников // М.: АСВ, 2006. 289 с.
6. Баженов Ю.М. Бетон: технологии будущего/Ю.М. Баженов // Строительство: новые технологии – новое оборудование. М.: ИД «Панорама», 2009. №8. С. 29-32.
7. Hillemeier B., Buchenau G., Herr R., Huttli R., Klubendorf St., Schubert K. Spezialbetone, Betonkalender // Ernst & Sohn. 2006. №1. С. 534-549.
8. Каприелов С.С., Батраков В.Г., Шейнфельд А.В. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива // Бетон и железобетон. 1999. №6. С. 6-10.
9. Муртазаев С-А. Ю. Влияние тонкодисперсных микронаполнителей из вулканического пепла на свойства бетонов/М.Ш. Саламанова, Р.Г. Бисултанов // Сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова», 24-26 марта 2015 г., Грозный. Т. 1. С. 171-176.
10. Каприелов С.С. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях. Ч. II/С.С. Каприелов [и др.] // Строительные материалы. 2008. №3. С. 9-13.

## POSSIBILITIES OF MODIFYING BINDING SYSTEMS WITH MINERAL ADDITIVES

© S-A. Yu. Murtazaev<sup>1, 2</sup>, M. Sh. Salamanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

<sup>2</sup>Kh. Ibragimov Complex Institute of the RAS, Grozny, Russia

The paper presents the results of studies on the production of a highly active binder using mineral filler powders, which make it possible to expand the understanding of the regularities of the processes of cement hydration, the formation of the structure and crystalline hydrates of cement stone. The key to a given strength and operational reliability of concrete composites is the latent energy of Portland cement clinker, the unreacted proportion of the active component, which contributes to strengthening the rigidity of the cement stone due to hydration transformations. The dependences of the change in the specific surface of the additive on the duration of grinding in a vibrating mill are presented. The surface activity of mineral powders has been studied.

**Keywords:** highly active binder, volcanic ash, flask, strength, stiffness, additives, mineral powder, binders

### REFERENCES

1. Murtazaev, S.A. Yu., Salamanova, M. Sh. and Nakhaev, M. R. (2020). 'Possible ways of alternative solutions to problems in the cement industry'. *Construction materials*. № 1-2, pp. 73-77. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77>.
2. Murtazaev, S.A. Yu., Salamanova, M. Sh., Saidumov, M. S. and Ismailova, Z. Kh. (2017). 'Influence of surface active centers on the reactivity of mineral additives'. *Scientific journal "Modern Science and Innovations"*. № 2 (18), pp. 168-175.
3. Murtazaev, S-A. Yu. and Salamanova, M. Sh. (2018). 'Prospects for the use of thermally activated raw materials of aluminosilicate nature'. *Privolzhsky scientific journal*. № 2 (V. 46), pp. 65-70.
4. Salamanova, M. Sh., Nakhaev, M. R. and Ismailova, Z. Kh. (2020). 'Patterns of the processes of formation of the structure and strength of a clinker-free binder of alkaline activation' *International Research Journal "Building Materials and Products"*. V. 3. № 1, pp. 21-29, available at: <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2020-3-1-21-29>.
5. Bazhenov, Yu.M., Demyanova, B. C. and Kalashnikov, V. I. (2006). Modified high-quality concretes. ASV, Moscow, 289 p.
6. Bazhenov, Yu.M. (2009). Concrete: technologies of the future. Construction: new technologies – new equipment. Publishing house "Panorama", № 8, Moscow, pp. 29-32.
7. Hillemeier, B., Buchenau, G., Herr, R., Huttli, R., Klubendorf, St. and Schubert, K. (2006). Spezialbetone, Betonkalender, Ernst & Sohn, № 1, pp. 534-549.
8. Kapriyelov, S. S., Batrakov V.G., Sheinfeld A. V. (1999). 'Modified concrete of a new generation: reality and perspective'. *Concrete and reinforced concrete*. № 6, pp. 6-10.
9. Murtazaev, S-A. Yu. Salamanova, M. Sh. and Bisultanov, R. G. (2015). 'Influence of finely dispersed microfillers from volcanic ash on the properties of concrete'. *Collection of articles of the international scientific-practical conference dedicated to the 95th anniversary of GSTOU named after M. D. Millionshchikov*, March 24-26, 2015, Grozny, vol. 1, pp. 171-176.
10. Kapriyelov, S. S. (2008). 'Modified high-strength concretes of classes B80 and B90 in monolithic structures'. Part II. *Construction materials*. № 3, p. 9-13.

### *Уважаемые коллеги!*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова» (далее - ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова) в период с 28 по 30 апреля 2023 года проводит **Международную научно-практическую конференцию** «Автотранспортный комплекс 3.0. Актуальные проблемы и перспективы развития».

Целью конференции является объединение на одной площадке российских и международных экспертов/специалистов/ученых в области автотранспортного комплекса, представляющих образование и науку, бизнес-общество и государственный сектор для решения и развития современных технологий, обсуждения путей и перспектив развития науки и производства.



Главный учебный корпус ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова  
(Чеченская Республика, г. Грозный)

Конференция проводится при поддержке Министерства промышленности и энергетики Чеченской Республики, Министерства транспорта и связи Чеченской Республики и Министерства строительства и ЖКХ Чеченской Республики.

Представленные доклады как очные, так и заочные, будут качественно отрецензированы. Направление докладов должно носить исключительно прикладной характер, обозначать существующую проблематику и предлагать решение конкретных

прикладных задач: технических, административных, организационных или регуляторных.

В рамках конференции планируется организовать экспозицию техники и оборудования от производителей, при желании разработок вузов. Планируется проведение студенческой Форсайт-сессии в период с 17 по 23 апреля 2023 г., результаты которой будут представлены на данной конференции. Обсуждается проведение 2-3 тематических круглых столов на площадке конференции.





## ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Планируется освещение информации как о проведении, так и итогах конференции на ресурсах информационных партнеров. Тезисы докладов будут опубликованы в сборнике конференции, а непосредственно сами публикации в серийных или специальных выпусках научных журналов информационных партнеров.

Основные научные направления:

- Колесные и гусеничные машины (пассажирские, грузовые, дорожные, строительные и подъемно-транспортные, горные, коммунальные, сельскохозяйственные, специального назначения и др.);
- Автомобильные перевозки и логистика;
- Организация и безопасность дорожного движения;
- Альтернативные виды топлива;
- Электрический и водородный транспорт;
- Цифровизация в логистике, организации дорожного движения и транспортном машиностроении;
- Инструментальная техника и технологическая оснастка в транспортном машиностроении;

- Транспортная телематика, интеллектуальный транспорт;
- Промышленная и экологическая безопасность, вопросы декарбонизации в автотранспортном комплексе;
- Инновации в подготовке кадров для автотранспортного комплекса.

Соорганизаторами конференции выступают:

- Горский государственный аграрный университет (ГГАУ), Владикавказ;
- Государственный научный центр ФГУП «НАМИ»;
- КНИИ им. Х. И. Ибрагимова РАН;
- Машиностроительная компания «Витебские подъемники» (Республика Белоруссия, г. Витебск);
- Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ);
- Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»;
- Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (НИУ);

- Министерство промышленности и энергетики Чеченской Республики;
- Министерство транспорта и связи Чеченской Республики;
- Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева;
- ООО «БКТС» (официальный дилер ОАО «БЕЛАЗ») (Армения);
- ООО «Лигал Солюшенс Партнерс»;
- Промышленный кластер Союз «Автопром Северо-Запад»;
- Российский университет спецназа;
- Санкт-Петербургский горный университет;
- Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;
- Ташкентский государственный университет путей сообщения.

С Программой конференции и другой подробной информацией можно ознакомиться на сайте ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова: <https://gstou.ru/science/conference-id.php?id=127>

Заявку на участие в конференции и текст доклада (статьи) направлять по следующему адресу: [d.nikitin@madi.ru](mailto:d.nikitin@madi.ru), тел.: +7911 554-03-30.

Срок подачи материалов: до 17 апреля 2023 г.

Форма участия: очная/заочная/онлайн.

Подключиться к конференции в онлайн режиме можно через Zoom: <https://us02web.zoom.us/j/5451270227?pwd=QXNlYU25tanVNdmQwYVlxSEtmUVFrdz09>

Идентификатор конференции: 5451270227, Код доступа: 000000

Адрес проведения конференции: Чеченская Республика, г. Грозный, пр-т. Х. Исаева, д.100, ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова.

В связи с вышеобозначенным приглашаем Вас принять участие в работе Международной научно-практической конференции «Автомобильный транспортный комплекс 3.0. Актуальные проблемы и перспективы развития».

**ВЕСТНИК ГГНТУ**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**2023. Том XIX. № 1 (31)**

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

Выход в свет 31.03.2023  
Формат 60×<sup>84</sup>/<sub>8</sub>. Печать офсетная  
Усл. печ. л. 12,32. Тираж 350 экз. Заказ № 38.

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.