

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] № 4

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

ISSN 0585-430X (Print)

ISSN 2658-6991 (Online)



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU АПРЕЛЬ 2022 г. (801)

ОТКРЫВАЯ НОВОЕ



КЛИМ КЛИНКЕР

КИРПИЧНЫЙ ЗАВОД
klim-klinker.ru



ПРЕГРАДИМ ДОРОГУ ОГНЮ!

Конструктивная огнезащита КНАУФ

Более 25 лет на рынке России компания КНАУФ успешно развивает и реализует свои компетенции в строительной отрасли, в том числе и в области огнезащиты.

Листовые материалы КНАУФ помогают максимально сохранить функциональное назначение и несущую способность конструкций зданий и сооружений и увеличивают время от начала пожара до достижения критического состояния конструкций и их обрушения.

Материалы КНАУФ с классом пожарной опасности КМ0, такие как негорючая плита КНАУФ-Файерборд и КНАУФ-суперлист негорючий (ГВЛВ НГ), созданы специально для решения наиболее сложных задач по огнезащите.

Огнезащитные конструкции и системы КНАУФ

- облицовка стальных конструкций (до 240 мин.)
- противопожарные стены и перегородки (до 240 мин.)
- внутренние несущие стены и перекрытия (до 90 мин.)
- перекрытия и покрытия мансардных этажей (до 60 мин.)
- облицовка стен и шахт инженерных коммуникаций (до 120 мин.)
- огнестойкие кабельные короба (до 180 мин.)
- облицовка стальных воздуховодов (до 90 мин.)
- подвесные и самонесущие потолки (до 150 мин.)

Учредитель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,
Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского,
д. 9, корп. 1, кв. 1
Издатель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»
Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского,
д. 9, корп. 1, кв. 1
Свид. о регистрации ПИ № 77–1989
ISSN 0585-430X (Print) ISSN 2658-6991 (Online)
Входит в Перечень ВАК, РИНЦ,
Russian Science Citation Index
на платформе Web of Science
Адрес редакции: Россия, 127434, г. Москва,
Дмитровское ш., д. 9, стр. 3

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№ 4

Основан в 1955 г.

(801) Апрель 2022 г.

Тел.: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36 mail@rifsm.ru; www.rifsm.ru; www.journal-cm.ru

Керамические строительные материалы

А.А. СЕМЁНОВ

Некоторые тенденции в развитии рынка керамических стеновых материалов в России. 4

В.А. ГУРЬЕВА, А.В. ДОРОШИН

Применение золошлаковой керамики для малоэтажного строительства 6

Наука – керамическому производству (Информация) 11

Процесс тонкого помола глины через призму теории (Информация) 14

А.Ю. СТОЛБОВУШКИН, Д.В. АКСТ, О.А. ФОМИНА

**Фазовый состав и свойства керамических матричных композитов
с добавкой феррованадиевого шлака 17**

В.Д. КОТЛЯР, Ю.В. ТЕРЁХИНА

**Классификационные признаки и особенности опал-кristобалитовых опоковидных пород
как сырья для стеновой керамики 25**

А.В. КОТЛЯР

Характеристика камнеподобных глинистых пород как сырья для производства строительной керамики. 31

В.А. ГУРЬЕВА, А.А. ИЛЬИНА

Отходы никелевого производства в технологии строительной керамики 38

И.С. ГРУШКО

Влияние технологических добавок на структуру пеностекла 44

Итоги «Российской строительной недели-2022» (Информация) 50

Результаты научных исследований

В.И. КОНДРАЩЕНКО

Интегрированный подход в бетоноведении 54

М.Д. БАТОВА, Н.С. ЖУКОВА, А.Ф. ГОРДИНА, Г.И. ЯКОВЛЕВ, А.В. ШАЙБАДУЛЛИНА, А.Э.М.М. ЭЛЬРЕФАИ, З. ОРБАН

Гипсовые материалы, модифицированные комплексной добавкой на основе наносилики. 64

Н.С. СОКОЛОВ

Опыт устройства ограждения котлована в особо стесненных условиях. 72

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.

Founder of the journal: «STROYMATERIALY»
Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,
Moscow, 125319, Russian Federation
Publisher: «STROYMATERIALY»
Advertising-Publishing Firm, OOO
Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,
Moscow, 125319, Russian Federation
Registration certificate PI № 77–1989
ISSN 0585-430X (Print) ISSN 2658-6991 (Online)
Included in the list of journals of the Higher
Attestation Commission (Russia), Russian Science
Citation Index on the platform Web of Science
Editorial address: 9/3 Dmitrovskoye Highway,
127434, Moscow, Russian Federation

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROITEL'NYE MATERIALY®

№ 4

Founded in 1955 (801) April 2022

Tel.: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36 mail@rifsm.ru; www.rifsm.ru; www.journal-cm.ru

Ceramic building materials

A.A. SEMENOV

Some Trends in the Development of the Ceramic Wall Materials Market in Russia. 4

V.A. GURIEVA, A.V. DOROSHIN

Application of Ash-Slag Ceramics for Low-Rise Construction. 6

Science to Ceramic Industry (Information) 11

The Process of Fine Grinding of Clay Through the Prism of Theory (Information). 14

A.Yu. STOLBOUSHKIN, D.V. AKST, O.A. FOMINA

Phase Composition and Properties of Ceramic Matrix Composites with the Addition of Ferrovanadium Slag. 17

V.D. KOTLYAR, Yu.V. TEREKHINA

**Classification Features and Peculiarities of Opal-Cristobalite Opoka-Like Rocks
as Raw Materials for Wall Ceramics 25**

A.V. KOTLYAR

Characteristics of Stone-Like Clay Rocks as Raw Materials for the Production of Building Ceramics 31

V.A. GURYEVA, A.A. ILYINA

Wastes of Nickel Production in the Technology of Building Ceramics 38

I.S. GRUSHKO

The Effect of Technological Additives on the Structure of Foam Glass 44

Results of "Russian Construction Week 2022" (Information) 50

Results of scientific research

V.I. KONDRASHCHENKO

Integrated Approach in Concrete Science 54

M.D. BATOVA, N.S. ZHUKOVA, A.F. GORDINA, G.I. YAKOVLEV, A.V. SHAYBADULLINA, A.E.M.M. ELRAFAI, Z. ORBAN

Gypsum Materials Modified with Complex Additive Based on Nanosilica 64

N.S. SOKOLOV

Experience in the Construction of a Pit Fence in Particularly Cramped Conditions 72

Главный редактор:**ЮМАШЕВА Е.И.,**

инженер-химик-технолог, почетный строитель России

Председатель редакционного совета:**РЕСИН В.И.,**

д-р экон. наук, профессор, академик РААСН (Москва)

АЙЗЕНШТАДТ А.М.,

д-р хим. наук, профессор (Архангельск)

АСКАДСКИЙ А.А.,

д-р хим. наук, профессор (Москва)

БУРЬЯНОВ А.Ф.,

д-р техн. наук, директор Российской гипсовой ассоциации (Москва)

ВЕРЕЩАГИН В.И.,

д-р техн. наук, профессор (Томск)

ГОРИН В.М.,

канд. техн. наук, президент Союза производителей керамзита и керамзитобетона (Самара)

ЕРОФЕЕВ В.Т.,

д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (Саранск)

КОРОЛЕВ Е.В.,

д-р техн. наук, профессор (Санкт-Петербург)

КОТЛЯР В.Д.,

д-р техн. наук, профессор (Ростов-на-Дону)

КРИВЕНКО П.В.,

д-р техн. наук, профессор (Украина)

ЛЕОНОВИЧ С.Н.,

д-р техн. наук, профессор (Беларусь)

ЛЕСОВИК В.С.,

д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН (Белгород)

МУРТАЗАЕВ С.-А.Ю.,

д-р техн. наук, профессор (Грозный)

НЕДОСЕКО И.В.,

д-р техн. наук (Уфа)

ПИЧУГИН А.П.,

д-р техн. наук, профессор (Новосибирск)

ПУХАРЕНКО Ю.В.,

д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН (Санкт-Петербург)

РУДАКОВ О.Б.,

д-р хим. наук, профессор (Воронеж)

ТРАВУШ В.И.,

д-р техн. наук, академик РААСН (Москва)

ФЕДОСОВ С.В.,

д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (Иваново)

ФИШЕР Х.-Б.,

доктор-инженер (Германия)

ХОЗИН В.Г.,

д-р техн. наук, профессор (Казань)

ШЕБЛ С.М.,

д-р наук, профессор (Египет)

ШЛЕГЕЛЬ И.Ф.,

канд. техн. наук (Омск)

ШТАКЕЛЬБЕРГ Д.И.,

д-р техн. наук, профессор (Израиль)

ЯКОВЛЕВ Г.И.,

д-р техн. наук, профессор (Ижевск)

Ю ЖЯНГМЯО,

д-р философии (Китай, Гуанчжоу)

Editor-in-chief**YUMASHEVA E.,**

engineer-chemist-technologist, Honorary Builder of Russia

Chairman of Editorial Board**RESIN V.,**

Doctor of Science (Economy), Professor (Moscow)

AYZENSHTADT A.,

Doctor of Sciences (Chemistry), Professor (Arkhangelsk)

ASKADSKIY A.,

Doctor of Science (Chemistry), Professor (Moscow)

BURYANOV A.,

Doctor of Science (Engineering), Director of the Russian Association of gypsum (Moscow)

VERESHCHAGIN V.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Tomsk)

GORIN V.,

Candidate of Science (Engineering), President of the Union of Haydite and Haydite Concrete Producers (Samara)

EROFEEV V.,

Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS (Saratov)

KOROLEV E.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (St. Petersburg)

KOTLYAR V.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Rostov-on-Don)

KRIVENKO P.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Ukraine)

LEONOVICH S.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Belarus, Minsk)

LESOVIK V.,

Doctor of Science (Engineering), Corresponding Member of RAACS (Belgorod)

MURTAZAEV S.-A.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Grozniy)

NEDOSEKO I.,

Doctor of Science (Engineering) (Ufa, Bashkortostan)

PICHUGIN A.,

Doctor of Science (Engineering), Professor, Member of the Russian Academy of Natural Science (Novosibirsk)

PUKHARENKO Yu.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (St. Petersburg)

RUDAKOV O.B.,

Doctor of Sciences (Chemistry), professor (Voronezh)

TRAVUSH V.,

Doctor of Science (Engineering), academician of RAACS (Moscow)

FEDOSOV S.,

Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS (Ivanovo)

FISHER H.-B.,

Doctor-Engineer (Germany, Weimar)

KHOZIN V.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Kazan)

SHEBL S.M.,

Doctor of Science, Professor (Egypt)

SHLEGEL I.,

Candidate of Science (Engineering), ООО «INTA-Stroy» (Omsk)

SHTACKELBERG D.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Israel)

YAKOVLEV G.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Izhevsk)

YU JIANGMIAO,

PhD / Associate Professor (China, Guangzhou)

А.А. СЕМЁНОВ, канд. техн. наук, генеральный директор (info@gs-expert.ru)ООО «ГС-Эксперт» <http://www.gs-expert.ru/>

Некоторые тенденции в развитии рынка керамических стеновых материалов в России

Приводится современное состояние подотрасли керамических стеновых материалов. По данным Росстата выявлено, что за период с 2014 по 2021 г. количество действующих кирпичных заводов сократилось с 557 до 283, а суммарная их мощность составляет в настоящее время 5,5 млрд усл. кирп., что более чем на 35% меньше, чем мощность в 2014 г. Минимального 3%-го роста удалось добиться в 2019 г., в 2020–2021 гг. вновь наблюдалось падение производства керамического кирпича. Такой негативной динамике способствовал целый комплекс разноплановых причин и обстоятельств, как чисто экономических, так и социальных и политических.

Ключевые слова: керамические строительные материалы, строительство, динамика производства, спрос, потребление строительных материалов, штучные стеновые материалы.

Для цитирования: Семёнов А.А. Некоторые тенденции в развитии рынка керамических стеновых материалов в России // *Строительные материалы*. 2022. № 4. С. 4–5. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-4-5>

A.A. SEMENOV, Candidate of Science (Engineering), General Director (info@gs-expert.ru)
LLC "GS-Expert" <http://www.gs-expert.ru/>

Some Trends in the Development of the Ceramic Wall Materials Market in Russia

The current state of the ceramic wall materials sub-industry is presented. According to Rosstat, it was revealed that during the period from 2014 to 2021, the number of operating brick factories decreased from 557 to 283 and their total capacity is currently 5.5 billion equivalent bricks, which is more than 35% less than the capacity in 2014. The minimum 3% growth was achieved in 2019, in 2020–2021 there was again a drop in the production of ceramic bricks. A whole complex of diverse causes and circumstances, both purely economic, social and political, contributed to such negative dynamics.

Keywords: ceramic building materials, construction, production dynamics, demand, consumption of building materials, piece wall materials.

For citation: Semenov A.A. Some trends in the development of the ceramic wall materials market in Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 4, pp. 4–5. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-4-5>

В последние годы подотрасль керамических стеновых материалов испытывала серьезные трудности, как и большинство других подотраслей отечественной промышленности строительных материалов.

С 2015 по 2018 г. на фоне общего снижения объемов строительства в России наблюдалось и сокращение объемов производства и потребления всех видов стеновых материалов. За этот период производство керамического кирпича в стране сократилось на 29%. После 3% роста в 2019 г. в 2020–2021 гг. вновь наблюдалось падение производства керамического кирпича на 0,6 и 5,8% год к году соответственно. Негативной производственной динамике способствовал целый комплекс разноплановых причин и обстоятельств, как чисто экономических, так и социальных и политических.

Из-за неблагоприятной рыночной конъюнктуры число действующих в России керамических заводов за последние годы существенно сократилось. Так, если в 2014 г., по данным Росстата, в стране действовало 557 кирпичных заводов суммарной мощностью 8,7 млрд усл. кирп., то по состоянию на 2021 г. их осталось всего 283 суммарной мощностью около 5,5 млрд усл. кирп.

После нескольких лет стагнации в 2021 г. в России наблюдался строительный бум, который привел к

существенному росту спроса на стеновые материалы и динамичному росту цен на эту продукцию. Согласно данным Росстата, по итогам 2021 г. объем работ по виду деятельности «Строительство» вырос на 6% по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года и достиг 10791,6 млрд руб.

Объем ввода жилых домов в 2021 г. вырос на 12,7% по сравнению с уровнем 2020 г. и составил 92,6 млн м², что стало абсолютным рекордом за постсоветский период. При этом стоит отметить, что именно жилищное строительство является основным сегментом потребления штучных стеновых материалов (в том числе и в сегменте керамических стеновых материалов) — до 87% общего объема потребления.

Согласно оперативным данным Росстата, по итогам 2021 г. среди штучных стеновых материалов снижение объемов производства было отмечено только в сегменте керамического кирпича. Производство автоклавного газобетона выросло на 15%, выпуск силикатного кирпича увеличился на 2%. Производство прочих штучных стеновых материалов выросло на 4%. Данный товарный сегмент включает в себя штучные стеновые материалы на основе различных видов вяжущих (цементобетонные блоки, шлакоблоки, керамзитобетонные блоки, пенобетон и т. д.).

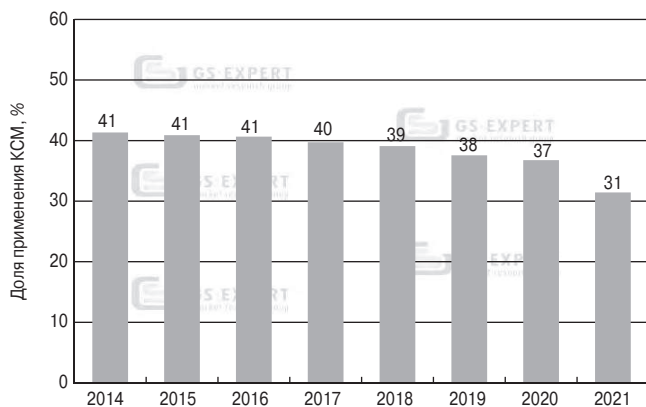


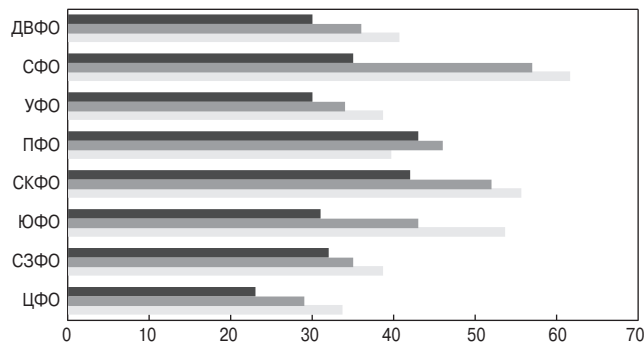
Рис. 1. Доля применения керамических стеновых материалов в РФ в 2014–2021 гг.

Fig. 1. The share of the use of ceramic wall materials in the Russian Federation in 2014–2021

Как результат – снижение доли применения керамических стеновых материалов до 31% по итогам 2021 г., что является абсолютным минимумом за весь постсоветский период.

При этом доля применения керамических стеновых материалов снизилась во всех федеральных округах. В целом наиболее высокая доля применения керамических изделий характерна для Приволжского, Сибирского, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов. Однако именно эти регионы в последние годы демонстрируют наиболее сильное снижение доли применения керамических стеновых материалов (рис. 2). Минимальное применение данной продукции характерно для Центрального федерального округа – всего около 23%, наиболее высокая доля применения керамических стеновых материалов отмечается в Северо-Кавказском и Приволжском округах – порядка 42–43%. При этом во всех регионах наблюдается активное замещение керамических стеновых материалов автоклавным газобетоном.

Начало 2022 г. внесло существенную долю оптимизма в перспективы развития рынка керамических стеновых материалов. На фоне строительного бума по итогам января–февраля объем производства керамического кирпича вырос почти на 13% по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года на фоне роста средних цен реализации данной продукции на 44% (также по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года). Однако возникшая колоссальная неопределенность на рынке на фоне проведения специальной военной операции на Украине и негативное влияние введенных против России санкций на отечественную экономику, безусловно, окажут негативное воздействие и на промышленность строительных материалов. Несмотря на реализацию комплекса мер государственной поддержки строительной отрасли и сохранение высокого спроса на стеновые материалы в текущий момент времени, существенными сдерживающими факторами для дальнейшего эффективного развития подотрасли керамических стеновых материалов станут падение ре-



	ЦФО	СЗФО	ЮФО	СКФО	ПФО	УФО	СФО	ДВФО
■ 2021	23	32	31	42	43	30	35	30
■ 2018	29	35	43	52	46	34	57	36
■ 2014	34	39	54	56	40	39	62	41

Доля применения, %

Рис. 2. Доля применения керамических стеновых материалов в разрезе федеральных округов

Fig. 2. The share of the use of ceramic wall materials in the context of federal districts

альных доходов населения, высокие ставки ипотечного кредитования (несмотря на сохранение программ льготного кредитования), снижение доступности новых кредитов для промышленных предприятий и проблемы обслуживания существующих, прежде всего валютных кредитов, проблемы с поставками комплектующих и расходных материалов для отечественных керамических заводов, большинство из которых эксплуатируют зарубежное технологическое оборудование. Все эти факторы, безусловно, отразятся на дальнейшем развитии отечественного рынка керамических стеновых материалов. При этом, очевидно, наиболее серьезное влияние на рынок они начнут оказывать во втором полугодии текущего года и в начале 2023 г.



Специализируется на проведении маркетинговых исследований и мониторинге рынков в области строительных материалов и минерального сырья в России и ряде стран СНГ.

Осуществляет постоянный мониторинг и всесторонний анализ текущей ситуации и основных тенденций на рынках исследуемой продукции, включая анализ данных о ее производстве и потреблении, экспортно-импортных поставках, сырьевой базе, состоянии ведущих участников рынка, а также законодательства, касающегося этих отраслей.

Предлагаем готовые аналитические обзоры рынков, проведение исследований по вашим индивидуальным заказам, а также услуги по мониторингу цен и объемов поставок продукции (внутренние поставки и анализ ВЭД) на ежемесячной или ежеквартальной основе.

Тел: (916) 507-83-77

www.gs-expert.ru

E-mail: info@gs-expert.ru

В.А. ГУРЬЕВА, д-р техн. наук (victoria-gurieva@rambler.ru), А.В. ДОРОШИН, инженер (аспирант)
Оренбургский государственный университет (460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13)

Применение золошлаковой керамики для малоэтажного строительства

Проанализирован опыт вовлечения в производство керамического кирпича золошлаковых отходов (далее – ЗШО). Проведена оценка производства керамического кирпича за 2020–2021 гг. в Российской Федерации. С применением комплекса исследований установлено, что алюмосиликатные горные породы – суглинки могут являться альтернативным источником сырья для производства полнотелого керамического кирпича методом полусухого прессования с добавкой золошлаковых отходов в количестве от 28–35% и силикагеля 11%. Представлены результаты исследований по изучению химических, минералогических и физико-механических свойств золошлаковой керамики на основе двух- и трехкомпонентных композиций. С применением электронно-микроскопического оборудования получены изображения микроструктуры керамических образцов с 35% ЗШО, обожженных при температуре 1050°C.

Ключевые слова: золошлаковая керамика, золошлаковые отходы, пористость, предел прочности при сжатии, средняя плотность, водопоглощение, силикагель.

Для цитирования: Гурьева В.А., Дорошин А.В. Применение золошлаковой керамики для малоэтажного строительства // *Строительные материалы*. 2022. № 4. С. 6–10. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-6-10>

V.A. GURIEVA, Doctor of Sciences (Engineering) (victoria-gurieva@rambler.ru), A.V. DOROSHIN, Engineer (Postgraduate)
Orenburg State University (13, Pobedy Prospect, Orenburg, 460018, Russian Federation)

Application of Ash-Slag Ceramics for Low-Rise Construction

The experience of involving ash-slag waste in the production of ceramic bricks (hereinafter ASW) is analyzed. An assessment of the production of ceramic bricks for 2020–2021 in the Russian Federation has been made. Using a complex of studies, it is established that aluminosilicate rocks – loams can be an alternative source of raw materials for the production of full-bodied ceramic bricks by semi-dry pressing with the addition of ash-slag waste in the amount of 28–35% and silica gel 11%. The results of research on the study of chemical, mineralogical and physico-mechanical properties of ash-slag ceramics based on 2 and 3 component compositions are presented. With the use of electron microscopic equipment, images of the microstructure of ceramic samples with 35% ASW, burned at a temperature of 1050°C, were obtained.

Keywords: ash-slag ceramics, ash-slag waste, porosity, compressive strength limit, average density, water absorption, silica gel.

For citation: Gurieva V.A., Doroshin A.V. Application of ash-slag ceramics for low-rise construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 4, pp. 6–10. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-6-10>

В настоящее время на территории РФ активно развивается малоэтажное и индивидуальное строительство [1]. Развитие частного домостроения в России приобретает новые стратегические направления экономики. Для развития сельских территорий регионов активно привлекаются льготные ипотеки, позволяющие каждой семье улучшить жилищные условия [2–6].

Широкое использование кирпича в России приходилось на 50-е гг. XX в. [7]. Наряду с выпуском грубой керамики начинается производство пустотелого керамического кирпича для заполнения каркасов высотных многоэтажных зданий [8]. В 80-е гг. на заводах впервые внедрена технология производства крупноформатных керамических панелей [9].

Так, в ходе анализа материалов для возведения здания наиболее часто выбирается керамический кирпич, обеспечивающий строительство надежного и комфортного жилья. Применение для кладки стен керамического кирпича позволяет застройщику решить многие эксплуатационные проблемы: увеличить прочностные показатели конструкции стены, реализовать различные объемно-планировочные и

конструктивные решения, предусмотреть экологические аспекты, обеспечить пожаробезопасность объекта, снизить уровень звукоизоляции.

В настоящее время, согласно [10], основная доля выпускаемого строительного кирпича в РФ приходится на керамический – 71% и силикатный – 29%. Однако по данным Росстата, динамика производства

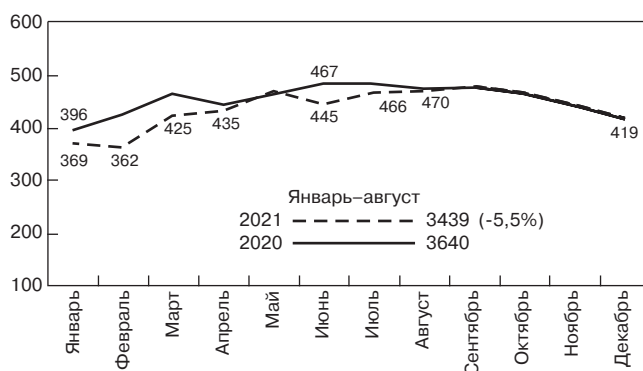


Рис. 1. Динамика производства керамического кирпича в РФ за 2020–2021 гг., млн усл. кирп.

Fig. 1. Dynamics of ceramic brick production in the Russian Federation for 2020–2021, million conditional bricks

Таблица 1
Table 1Химический состав глинистых пород и ЗШО
Chemical composition of clay rocks and ZSHO

№	Название сырья	Содержание оксидов, %									
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	ППП	Σ
1	Суглинок бугурусланский	59,24	0,71	9,98	4,48	1,47	1,70	2,93	8,95	10,54	100
2	Суглинок новосергиевский	61,95	0,73	9,62	4,63	1,49	1,87	3,2	7,31	9,20	100
3	ЗШО	31,57	0,52	9,34	3,93	0,33	1,01	1,34	4,04	47,92	100

Таблица 2
Table 2Минералогический состав глинистых пород
Mineralogical composition of clay rocks

Месторождение суглинков	Содержание, %			
	Каолинит	Альбит	Ортоклаз	Свободный кварц
Бугурусланское	19,5	16,7	13,4	50,4
Новосергиевское	16,9	16,4	14,4	40,1

керамического кирпича в РФ за 2020–2021 гг., млн усл. кирп., снизилась на 1,2% и составила 470 млн усл. кирп. (рис. 1).

Однако при росте ввода жилья – более 43,5 млн м² происходит снижение производства изделий стеновой керамики. Одна из причин данной ситуации, сложившейся в производстве керамических материалов, иссякающие запасы качественных глин, месторождения которых разведаны и разрабатываются еще с периода Советского Союза. Одним из направлений расширения минерально-сырьевой базы является внедрение в технологию более низкого по качеству местного глинистого сырья с добавлением отходов различных производств. Большое количество промышленных технологий связано с добычей и переработкой природного минерального сырья. Это приводит к образованию техногенных продуктов, накопление которых ухудшает экологическую обстановку в регионах. Поэтому вовлечение техногенного сырья с целью его вторичной переработки, в том числе в производство керамических материалов, является также важным аспектом регионального решения этой актуальной проблемы.

Отечественные ученые активно ведут работы по расширению сырьевой базы при одновременном решении вопросов снижения энергозатрат на производство стеновой керамики [11–13].

Представляют интерес исследования возможности получения энергоэффективных строительных материалов с заранее заданными свойствами из алюмосиликатных микросфер, которые являются разновидностью ячеистых силикат-натриевых материалов. В процессе сжигания угля на ТЭЦ самопроизвольно образуются аналогичные по структуре микросферы. Однако высокая степень изменчивости физических и химических свойств данных микросфер не позволяет организовывать их промышленную переработку

в производстве строительных материалов. Вместе с тем задача разработки технологии стеновых керамических изделий с вовлечением золошлаковых отходов является перспективной.

Сырьем для производства керамического кирпича служат глины, которые оцениваются по показателям, определяющим технологические параметры производства: пластичность, связующая способность, воздушная и огневая усадка, огнеупорность, спекаемость, чувствительность к сушке. Наиболее значимыми из них являются пластичность, спекаемость и чувствительность к сушке. Технологические свойства определяются химическим, минералогическим и гранулометрическим составом глин. Основное влияние на технологические показатели оказывает присутствие в химическом составе глин оксидов: оксида алюминия (Al₂O₃), оксида кремния (SiO₂) и оксидов железа (FeO, Fe₂O₃) [14].

Анализ потребности рынка в керамическом кирпиче показал, что основными марками кирпича, производимыми в России, являются М100, М125, реже высокопрочный М150, М200 кирпич.

Так, для расширения спектра выпускаемой продукции с использованием низкокondиционного сырья в лаборатории строительных материалов Оренбургского государственного университета проведены исследования по получению полнотелого керамического кирпича с использованием природного глинистого сырья Бугурусланского и Новосергиевского месторождений и техногенного сырья в виде золошлаковых отходов ТЭЦ г. Орска.

В ходе исследований установлено, что глинистые породы опытных месторождений относятся к легкоплавким с температурой плавления 1150 и 1170°C, в силу низкого содержания щелочных оксидов в химическом составе (табл. 1), и отличаются узким интервалом спекания. Согласно данным петрографиче-

Таблица 3
Table 3

Химический состав трехкомпонентной шихты
Chemical composition of the 3-component charge

Состав шихты	Содержание оксидов, %									
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	SO ₃	Σ
ГЛ ₅₄ +ЗШО ₃₅ +СГ ₁₁	70,55	0,58	7,1	2	5,04	1,12	4,22	9,33	0,04	100

Таблица 4
Table 4

Физико-механические свойства образцов
Physical and mechanical properties of samples

№	Состав массы, %	Средняя плотность, г/см ³	Пористость, %	Огневая усадка, %	Водопоглощение, %	Предел прочности при сжатии, МПа
1	Суглинок – 100	1,88	8	5,5	13,2	23,49
2	ГЛ ₇₂ +ЗШО ₂₈	1,62	27	3,7	13,88	17,1
3	ГЛ ₅₄ +ЗШО ₃₅ +СГ ₁₁	1,79	19	1,9	14	26,45

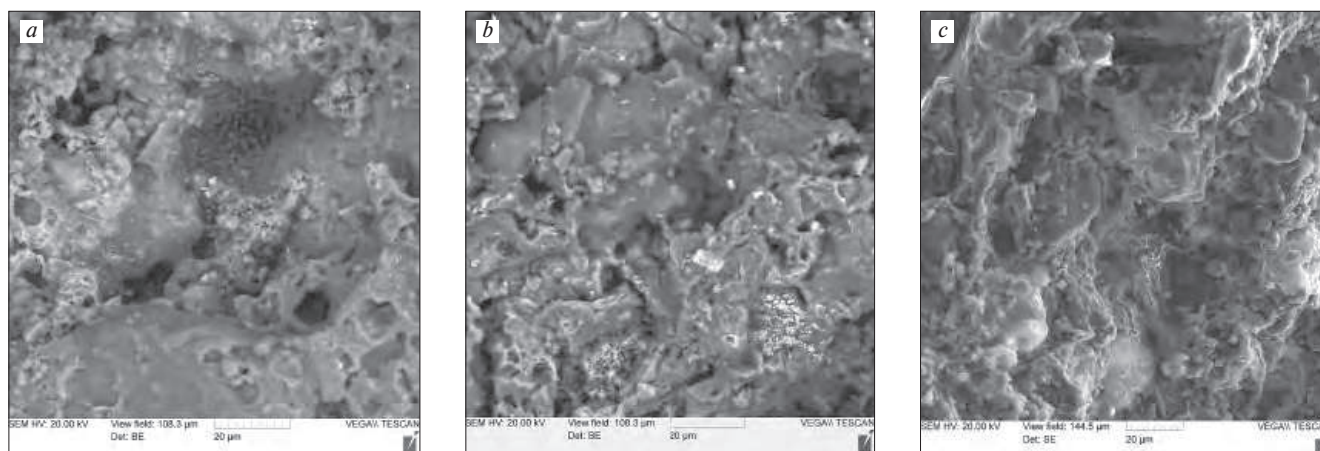


Рис. 2. Структура обожженных образцов при температуре 1050°, увеличение ×2000: а – чистый суглинок 100%; б – суглинок 72% + ЗШО 28%; с – суглинок 54% + ЗШО 35% + силикагель 11%
Fig. 2. Structure of burnt samples at a temperature of 1050°, magnification ×2000: a – pure loam 100%; b – loam 72%+ASW 28%; c – loam 54% + ASW 35% + silica gel 11%

ского анализа минералогический состав глин характеризуется присутствием каолинита, альбита, ортоклаза и свободного кварца (табл. 2).

Золошлаковые отходы представляют собой стекловатый агрегат, образованный в топках со слоевым сжиганием угля при температуре 1700–1900°С, и характеризуются рентгеноаморфной стекловидной фазой с недоплавленными включениями минералов (кварц, альбит, кальцит, гипс). Новообразованные минералы в шлаке, полученные в результате нагрева, представлены группой цеолитов: муллит, гематит, шабазит [15].

Согласно полученным авторами данным было принято решение об использовании местного суглинка Бугурусланского месторождения методом полусухого прессования, так как суглинки Ново-Сергиевского месторождения относятся к умеренно-пластичным П – 7,46 с высоким количеством кремнезема 61,95% и низким количеством глинистых веществ (табл. 2).

По результатам проведенных опытных исследований было определено оптимальное количество содержания ЗШО в двухкомпонентной керамической шихте в количестве 28%, а также технологические параметры для производства кирпича марки М100 [16, 17].

Из-за высокого количества органических примесей в золошлаковых отходах образцы на их основе после обжига при температуре 1150°С характеризовались водопоглощением 13,88% и средней плотностью 1,62 г/см³, что не позволяет производить керамику с высокой плотностью без использования флюсующих добавок.

В качестве плавня принято решение использовать силикагель в количестве 11% в пересчете на сухое вещество, приготовленного из натриевой силикат-глыбы. Химический состав трехкомпонентной шихты системы суглинок + ЗШО + силикагель представлен в табл. 3.

Физико-механические свойства образцов представлены в табл. 4.

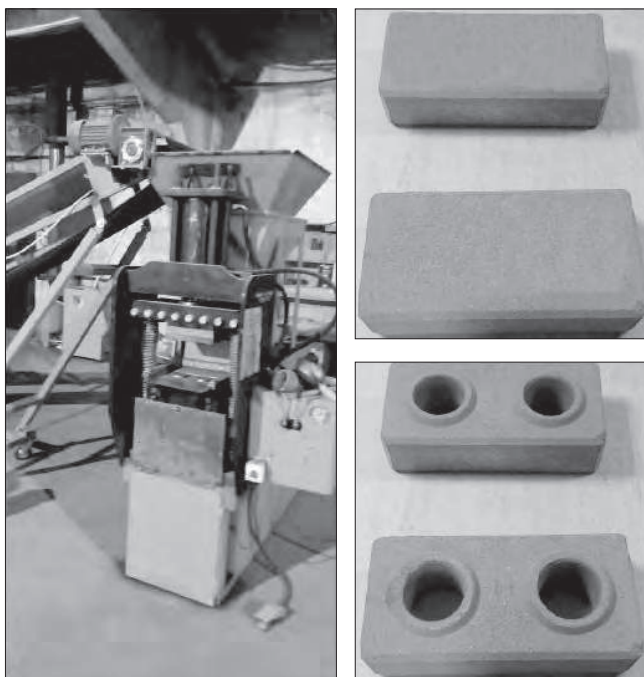


Рис. 3. Опытная партия керамического кирпича типа суглинок + ЗШО + силикагель

Fig. 3. Experimental batch of ceramic bricks of the loam + ASW + silica gel

Анализ полученных данных показал, что ввод 28% ЗШО обуславливает снижение прочностных показателей на 27% по сравнению с образцами из чистого суглинка, увеличение пористости на 70% и во-

допоглощения на 4,8%. Применение дополнительного плавня позволило: увеличить технологические показатели кирпича при одновременном увеличении содержания ЗШО в шихте до 35%, снизить температуру обжига до 1050°C. С учетом понижающего коэффициента 0,7, определенного опытным путем в ходе исследований, представляется возможность выпускать керамический кирпич марок М100 и М150.

Структура обожженных образцов при температуре 1050°C представлена на рис. 2.

По данным электронно-микроскопических исследований (рис. 2), в образцах с содержанием ЗШО от 28 до 35% было выявлено присутствие 30–35% стеклофазы, образованной от расплава поверхностей твердых тугоплавких частиц при температуре 1050°C.

Таким образом, разработаны сырьевые составы масс, которые позволяют получить керамический кирпич марок М100 (ЗШО 28%) и М150 (ЗШО 35% + силикагель 11%) (рис. 3); изучены физико-механические показатели изделий в зависимости от содержания модифицирующих добавок, установлен рост прочности при сжатии на 11,2% для трехкомпонентной шихты и снижение на 27,2% для двухкомпонентной шихты, определено увеличение количества стеклофазы соответственно на 37 и 26%. Данные исследования позволят увеличить выпуск конкурентоспособной продукции, используемой при строительстве малоэтажного домостроения, а также расширят сырьевую базу отрасли.

Список литературы

- Ивакин Е.К., Вагин А.В. Анализ динамики жилищного строительства в ростовской области // *Инженерный вестник Дона*. 2012. № 3 (21). С. 561–566.
- Сычев С.А. Системный анализ технологий высокоскоростного строительства в России и за рубежом // *Перспективы науки*. 2015. № 9 (72). С. 126–131.
- Плешивцев А.А. Доступное и комфортное жилье малообеспеченным гражданам РФ // *Градостроительство*. 2012. № 2 (18). С. 87–90.
- Кузьменков А.А., Титова С.А. Технико-экономическое сравнение вариантов конструкций стен малоэтажных жилых зданий для северных условий Республики Карелия // *Resources and Technology*. 2016. Т. 13. № 4. С. 57–70. DOI: 10.15393/j2.art.2016.3481
- Девятникова Л.А., Емельянова Е.Г., Кузьменков А.А., Симонова А.А. Исследование технико-экономических параметров при выборе технологии возведения ограждающих конструкций индивидуальных жилых домов // *Ученые записки Петрозаводского государственного университета*. 2015. № 4 (149). С. 82–89.
- Асаул А.Н., Казаков Ю.Н., Пасыда Н.И., Денисова И.В. Теория и практика малоэтажного жилищного строительства в России. СПб.: Ассо-

References

- Ivakin E.K., Vagin A.V. Analysis of the dynamics of housing construction in the Rostov region. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2012. No. 3 (21), pp. 561–566. (In Russian).
- Sychev S.A. System analysis of high-speed construction technologies in Russia and abroad. *Perspektivy nauki*. 2015. No. 9 (72), pp. 126–131. (In Russian).
- Pleshivtsev A. A. Affordable and comfortable housing for low-income citizens of the Russian Federation. *Gradostroitel'stvo*. 2012. No. 2 (18), pp. 87–90. (In Russian).
- Kuzmenkov A.A., Titova S.A. Technical and economic comparison of wall designs of low-rise residential buildings for the northern conditions of the Republic of Karelia. *Resources and Technology*. 2016. Vol. 13. No. 4, pp. 57–70. DOI: 10.15393/j2.art.2016.3481. (In Russian).
- Devyatnikova L.A., Emelyanova E.G., Kuzmenkov A.A., Simonova A.A. Research of technical and economic parameters when choosing the technology for the construction of enclosing structures of individual residential buildings. *Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015. No. 4 (149), pp. 82–89. (In Russian).
- Asaul A.N., Kazakov Yu.N., Pasyada N.I., Denisova I.V. Theory and practice of low-rise housing construction in Russia. St. Petersburg: Association “Non-

- циация «Некоммерческое партнерство по содействию в проведении научных исследований «Институт нового индустриального развития им. С.Ю. Витте», 2005. 563 с.
7. Жиронкин П.В., Герашенко В.Н., Гринфельд Г.И. История и перспективы промышленности керамических строительных материалов в России // *Строительные материалы*. 2012. № 5. С. 13–18.
 8. Ищук М.К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из многослойной облегченной кладки // *Строительные материалы*. 2008. № 4. С. 101–105.
 9. Авторское свидетельство № 948676 А1 СССР, МПК В28В 11/00. Способ изготовления стеновых панелей из керамических пустотелых камней: № 3268472. / В.П. Хлебцов. Заявл. 13.01.1981. Оpubл. 07.08.1982.
 10. Семёнов А.А. Российский рынок керамического кирпича. Тенденции и перспективы развития // *Строительные материалы*. 2020. № 12. С. 4–5. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-4-5>
 11. Августиник А.И. Керамика. Л.: Стройиздат, 1975. 590 с.
 12. Гончаров Ю.И. Состояние и перспективы развития керамической промышленности России // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2008. № 7 (114). С. 28–30.
 13. Шарипов Р.Я., Стороженко Г.И. Заводской опыт внедрения новых технологий для улучшения качества керамического кирпича // *Строительные материалы*. 2005. № 6. С. 11–14.
 14. Столбоушкин А.Ю., Иванов А.И., Акст Д.В. Неудачный опыт перепрофилирования уникального завода по производству кирпича из отходов углеобогащения и возможные пути его реконструкции // *Строительные материалы*. 2017. № 4. С. 20–24.
 15. Юрьев И.Ю., Скрипникова Н.К., Луценко А.В. Применение зол гидроудаления ТЭС в производстве строительных материалов // *Научный альманах*. 2015. № 7 (9). С. 855–857. DOI: 10.17117/na.2015.07.269
 16. Гурьева В.А., Дорошин А.В., Дубинецкий В.В. Исследование влияния модифицирующих добавок на морозостойкость и свойства керамики // *Строительные материалы*. 2018. № 8. С. 52–57. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-762-8-52-56.
 17. Гурьева В.А., Дорошин А.В. Золь-гель технология при производстве стеновой керамики с применением техногенного сырья на примере золошлаковых отходов ТЭС. «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии: Сборник статей 78-й всероссийской научно-технической конференции» / Под ред. М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. Самара. 19–23 апреля 2021 г. С. 876–883.
 - profit Partnership for Assistance in Scientific research “Institute of New Industrial Development named after S.Yu. Witte”. 2005. 563 p. (In Russian).
 7. Zhironkin P.V., Gerashchenko V.N., Grinfeld G.I. History and prospects of the ceramic building materials industry in Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 5, pp. 13–18. (In Russian).
 8. Ishchuk M.K. Domestic experience in the construction of buildings with external walls made of multilayer lightweight masonry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 4, pp. 101–105. (In Russian).
 9. Copyright certificate No. 948676 A1 USSR, IPC B28B 11/00. Method of manufacturing wall panels from ceramic hollow stones. No. 3268472 / V.P. Khlebtsov. Application No. 13.01.1981. Publ. 07.08.1982. (In Russian).
 10. Semenov A.A. Russian market of ceramic bricks. Development trends and prospects. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 12, pp. 4–5. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-4-5>
 11. Avgustinik A.I. Keramika [Ceramic]. L.: Strojizdat. 1975. 592 p. (In Russian).
 12. Goncharov Yu.I. The state and prospects of development of the ceramic industry of Russia. *Building materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2008. No. 7 (114), pp. 28–30. (In Russian).
 13. Sharipov R.Ya., Storozhenko G.I. Factory experience of introducing new technologies to improve the quality of ceramic bricks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005. No. 6, pp. 11–14. (In Russian).
 14. Stolboushkin A.Y., Ivanov A.I., Akst D.V. Unsuccessful experience of repurposing a unique plant for the production of bricks from coal enrichment waste and possible ways of its reconstruction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 4, pp. 20–24. (In Russian).
 15. Yuryev I.Yu., Skripnikova N.K., Lutsenko A.V. The use of hydraulic removal of thermal power plants in the production of building materials. *Naychniy Almanakh*. 2015. No. 7 (9), pp. 855–857. DOI: 10.17117/na.2015.07.269. (In Russian).
 16. Guryeva V.A., Doroshin A.V., Dubinetsky V.V. Investigation of the effect of modifying additives on the frost resistance and properties of ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 8, pp. 52–57. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-762-8-52-56 (In Russian).
 17. Guryeva V.A., Doroshin A.V. Sol-gel technology in the production of wall ceramics with the use of technogenic raw materials on the example of ash and slag waste of CHP. *Traditions and innovations in construction and architecture. Construction and Construction Technologies: Collection of articles of the 78th All-Russian Scientific and Technical Conference*. Edited by Shuvalov M.V., Pishchulev A.A., Strelkov A.K. Samara. April 19–23, 2022, pp. 876–883. (In Russian).



Наука — керамическому производству



Science to Ceramic Industry

В рамках МИАП КЕРАМТЭКС в Новосибирске на базе НГАСУ в феврале 2022 г. состоялся II Международный научный симпозиум «Наука – керамическому производству».

Организаторы – редакция научно-технического журнала «Строительные материалы»[®] и Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (НГАСУ–СИБСТРИН) в сотрудничестве с Донским государственным техническим университетом. Партнерами симпозиума выступили компания KELLER (представительство в России КЕЛЛЕР ВОСТОК) и кирпичный завод «ЛИКОЛОР» (Новосибирск).

Производство стеновых керамических материалов является высокотехнологичным и наукоемким производством. Для их выпуска используется многокомпонентное полиминеральное глинистое сырье переменчивого состава, существенно различающееся для разных регионов России.

Физико-химические превращения сырья фактически начинаются уже на этапе выемки из карьера, где оно усредняется и предварительно вылеживается. Далее следует подача сырья на склад, составление сырьевой шихты из нескольких компонентов (другие виды глин, отощающие и выгорающие добавки, пигменты и т. д.), переработка на нескольких машинах массоподготовки, формование (пластическое, жесткая экструзия или полусухое), сушка полуфабриката и обжиг.

На всех производственных переделах происходят сложные физико-химические реакции, от направления и глубины которых зависят конечные свойства готовой продукции: прочность, морозостойкость, долговечность, цвет и т. д.

Детальное изучение химико-минералогического состава сырья и его керамических свойств, способы управления физико-химическими процессами производства с целью получения заданных свойств готовой продукции – задачи ученых, работающих в области керамики.

Высокая наукоемкость производства определяет высокий профессионализм технического персонала предприятий, в первую очередь сотрудников службы главного технолога. Именно они вот уже 20 лет самые активные участники конференций, семинаров и симпозиумов МИАП КЕРАМТЭКС, организуемых редакцией научно-технического журнала «Строительные материалы»[®].

В работе симпозиума приняли участие более 60 человек. Среди них ученые НГАСУ, ДГТУ, Томского технического университета, Сибирского федерального университета (Красноярск), Сибирского государственного индустриального университета (Новокузнецк), Института теплофизики СО РАН, чьи работы в области керамики известны как в научной среде, так и среди технологов кирпичных заводов. Конечно, все они постоянные авторы журнала «Строительные материалы»[®]. Учитывая локацию проведения мероприятия, конечно, главными его производственными участниками стали заводы Урала, Восточной и Западной Сибири, а также машиностроительные компании, которые производят оборудование и оснастку в том числе для предприятий керамической промышленности.





Участников симпозиума приветствовал ректор Новосибирского архитектурно-строительного университета д-р техн. наук, профессор **Ю.Л. Сколупович**. Он особенно подчеркнул значительную роль взаимодействия вузов и отраслевых предприятий в вопросах подготовки инженерных кадров и специалистов высшей квалификации, а также генерации новых научных знаний, внедрение которых позволит повысить эффективность производства строительных материалов.

Первая группа докладов, конечно, была посвящена сырьевой базе. Это неудивительно, так как запасы высококачественного сырья для производства стеновой керамики истощаются по всей стране. Возникла необходимость вовлечения в производство низкосортного, нетрадиционного сырья (**В.Д. Котляр, Г.И. Стороженко, Б. Браукманн**) и, что особенно актуально, техногенных отходов добывающих и перерабатывающих отраслей (**А.В. Дорошин, Х.С. Явруян**).

Известно, что качественную продукцию можно производить из сырья с весьма скромными керамическими свойствами. Для этого нужно разработать правильную технологию и подобрать линию необходимого оборудования. Этим вопросам были посвящены доклады **Н.Г. Васильевой** (Улучшение физико-механических свойств глинистого сырья способом механической активации), **А.Е. Абакумова** (Теория и практика проектирования формовочной оснастки для экструзионного формования керамического кирпича).

В отдельную группу можно выделить доклады, посвященные передовому оборудованию для производства кирпича. Есть в этом направлении и российские разработки. Например, **С.Г. Макаров** («ИНТА-СТРОЙ», Омск) представил лопастной экструдер как альтернативу традиционным шнековым прессам.

И.Э. Катинас («ВЕРДЕС С.А.», Испания) рассказал, какие преимущества получает производитель кирпича при установке вальцов супертонкого помола с зазором 0,5–0,9 мм. Он подробно остановился на кинематической схеме агрегата и его энергетической эффективности.

Большой интерес специалистов вызвал доклад **В.Ю. Кузьмина** («Хендле Урал», Челябинск) о расчете основных параметров сушки при реконструкции сушил. Такой интерес понятен, ведь от качества сушки зависит дальнейшее поведение сырца в обжиге, а следовательно, конечное качество продукции. Кроме того, даже относительно новые крупные предприятия уже подошли к необходимости реконструкции своих производственных линий. Виталий Юрьевич показал конкретные примеры проектных решений.

Производственным партнером симпозиума выступил кирпичный завод «ЛИКОЛОР» (Новосибирск). Он был построен в 2009 г. по проекту известной немецкой компании «KELLER HCM GmbH». Производственная мощность предприятия составляет более 60 млн шт. усл. кирпича в год.

Основной продукцией завода является пустотелый керамический кирпич М200 и клинкерный кирпич М300 пяти типоразмеров, десяти цветов и семи фактур. Ассортимент продукции постоянно расширяется.

Два собственных месторождения глины полностью обеспечивают предприятие сырьем, однако специалисты постоянно ведут поиск перспективных сырьевых источников и добавок, которые позволят расширить ассортимент продукции и эффективно управлять качеством и себестоимостью. На заводе «ЛИКОЛОР» впервые за Уралом внедрена технология флеш-обжига. Достижение этого года – внедрение технологии ангобирования



для производства керамического кирпича. Собственная лаборатория, аккредитованная центром метрологии и стандартизации НСО, позволяет вести не только контроль качества сырья и готовой продукции, но и прикладные научные исследования, как самостоятельно, так и в сотрудничестве с учеными вузов, в частности с НГАСУ, ТПУ, ДГТУ.

Экологическая чистота продукции «ЛИКОЛОР» подтверждена сертификатом Сибирского межрегионального экологического центра сертификации, менеджмента и аудита.

На пленарном заседании генеральный директор КЗ «ЛИКОЛОР» **А.О. Портнов** рассказал не только о заводе (коллеги увидели его во время выездной сессии), но и затронул текущее состояние отрасли, которое и до начала известных событий на Западе страны было непростым, обозначил перспективные проблемы и варианты их решения.

О проблемах нетехнического характера говорил и технический директор ВЗКСМ (Тюмень) **И.М. Путров**. Сейчас пришло время, когда последних выпускников – инженеров-технологов керамического производства, «сделанных» еще в СССР, для кирпичных заводов не хватает. Внедренная двухуровневая система подготовки бакалавров и магистров непосредственно по окончании вуза не позволяет выпускникам сразу эффективно работать на производственном предприятии. Для таких выпускников необходим достаточно длительный период адаптации и дополнительного обучения. Илья Михайлович озвучил идею создания крупными производственниками своеобразного технологического клуба с целью решения различных отраслевых задач.

Отметим, что вопрос подготовки качественных инженерных кадров для промышленности (технологов, механиков, энергетиков, специалистов КиП и автоматизации), и не только кирпичной, в настоящее время стоит очень остро. Об этом свидетельствует по-настоящему жаркая дискуссия, разгоревшаяся на симпозиуме между работниками вузов, руководителями и технологами предприятий.

Обсуждение проблем и задач отрасли будет продолжено в рамках ежегодного форума российских кирпичников – XX Международной научно-практической конференции КЕРАМТЭКС, которая состоится 15–16 июня 2022 г. в Ярославле.



Оставайтесь с нами! Оставайтесь с отраслью!





Процесс тонкого помола глины через призму теории

The Process of Fine Grinding of Clay Through the Prism of Theory

Валковая мельница представляет собой машину для вторичного измельчения керамического сырья, применяющуюся при пластическом способе подготовки керамической массы и состоящую из двух валков, которые вращаются вокруг параллельных осей в противоположных направлениях.

Степень измельчения материала вальцами зависит исключительно от их диаметра и конструкции машины (станка), в то время как производительность машины пропорциональна окружной скорости поверхности валков, их ширине и зазору между ними.

При подборе валцов необходимо учитывать следующие параметры:

- пластичность измельчаемого материала;
- максимальный размер частиц на входе;
- производительность;
- усилие прижима между валками;
- мощность;
- конструктивные характеристики машины.

В данной статье мы сосредоточимся на параметрах пластичности сырья, размере частиц и требуемой мощности машин для его переработки.

Прежде всего, необходимо определить пластичность керамического сырья, которое требуется измельчить, так как от этого будет зависеть меньшая или большая степень прилипания продукта (измельчаемого материала) к поверхности валков.

Глинистое сырье с высокой степенью пластичности может затруднить тонкое измельчение вальцами из-за сложности надлежащей очистки поверхности валков. Если продукт, подлежащий измельчению, обладает высокой степенью пластичности, необходимо выбирать подходящее оборудование, обеспечивающее максимальную чистоту поверхности валков. Для этого крайне важно, чтобы был установлен надлежащий скребковый цилиндр.

Величина усилия, прилагаемого скребками к поверхности валков, столь же важна, как и способность скребков максимально параллельно прилегать к поверхности во время работы и прилагать равномерное усилие по всей длине валков.

Что касается максимального размера частиц, подлежащих измельчению, то он зависит от коэффициента трения между

валком и измельчаемым продуктом. Размер или диаметр частицы так же важен, как диаметр валков и скорость их вращения.

Эти величины связаны математически, и это важно учитывать при выборе валцов и условий их работы.

На рисунке показан анализ сил и скорости, воздействию которых подвергается частица в момент попадания между двумя валками.

На рисунке представлены два четко сформулированных предположения о равновесии, а именно:

- а) статическое состояние: измельчаемая частица еще не достигла окружной скорости поверхности валков;
- б) динамическое состояние: измельчаемая частица достигла окружной скорости поверхности валков.

Если мы проанализируем статические условия, то увидим, что скорость не является влияющим фактором и, следовательно, максимальный размер частиц будет задан по следующей формуле:

$$d = \frac{D + S}{\cos \alpha} - D,$$

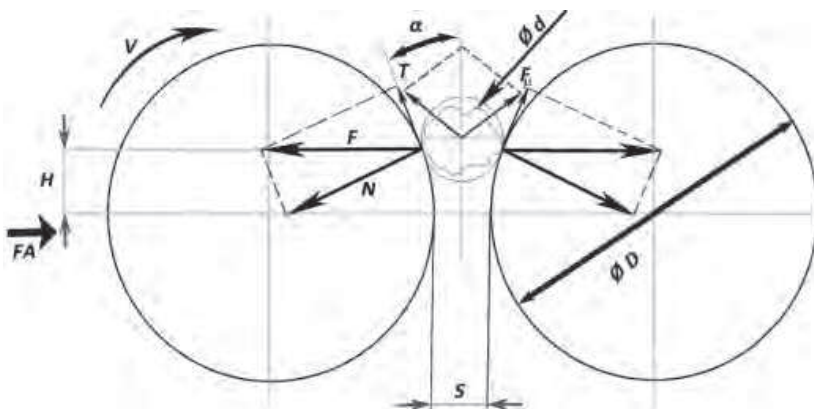
а точка контакта частицы с валком будет расположена на следующей высоте:

$$h = \frac{D}{2 \sin \alpha}.$$

При анализе в динамических условиях мы наблюдаем, что как только частица достигает окружной скорости поверхности валка, она описывает круговую траекторию, следовательно, возникает центробежная сила в направлении, противоположном силе, которая должна быть приложена между двумя валками для измельчения.

Упомянутая центробежная сила (F_{μ}) пропорциональна квадрату окружной скорости поверхности валков и их диаметру. Эта сила должна быть уравновешена силой, действующей со стороны частицы на валки, а также коэффициентом трения между частицей и поверхностью валков.

С помощью такого анализа сил при динамических условиях получается следующее уравнение, определяющее, исходя из размера частицы и размера валков, с какой максимальной скоростью поверхность валков должна вращаться, чтобы захватить частицу:



- D – наружный диаметр валка
- d – диаметр измельчаемой частицы
- S – межвалковый зазор
- V – окружная скорость поверхности валка
- FA – усилие прижима валков
- T – обратная тангенциальная сила
- N – нормальная составляющая силы
- F – результирующая сила векторов T и N
- F_{μ} – коэффициент трения
- α – угол захвата

Примеры индекса работы Бонда:

Material Материал	Density Удельный вес	ω_i
Bauxite Бокситы	2,38	9,45
Clay Глинистое сырье	2,23	7,16
Clay, calcined Прокаленная глина	2,32	7,43
Coal Уголь	1,63	11,37
Dolomite Доломит	2,82	11,31
Gypsum Гипс	2,69	8,16
Limestone Известняк	2,68	10,18
Sandstone Песчаник	2,68	11,53

$$V = \sqrt{\frac{q}{4} \cdot (D + d) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{D+S}{D+d}\right)^2}} + \frac{\mu \cdot (D+d)}{D+S} \right)}$$

Чтобы обеспечить необходимое нам измельчение продукта, остается определить натяжение или давление (усилие прижима) между валками. Очевидно, что это усилие должно быть равно или больше, чем сила разведения валков, известная по предыдущей диаграмме как F . Эта сила F пропорциональна диаметру, твердости и размеру частицы, а также диаметру валков и степени измельчения частиц.

Сила F по-прежнему представляет собой сопротивление, которое оказывает частица при измельчении (помоле), и выражается несколькими показателями, наиболее известным из них является **коэффициент (индекс) размоловоспособности по Хардгроуву**.

Следовательно, усилие можно рассчитать, зная установленную мощность:

$$T = \frac{75HP}{V}; \quad F = \frac{T}{\sin \alpha},$$

где T – обратная касательная сила; HP – установленная мощность привода (на каждый из валков); V – скорость поверхности валка.

Расчет требуемой мощности для обеспечения необходимого измельчения

Фред Честер Бонд в 1952 г. определил индекс работы как отношение между твердостью и плотностью материала:

Hr – твердость по Роквеллу;
 γ – плотность материала;

$$\omega_i = 2,59 \frac{Hr}{\gamma} kWh/st.$$

Он также установил необходимую мощность для уменьшения размера частиц исходя из:

A – размер частиц d80 на входе, указанный в мкм (т. е. 80% частиц должно быть менее указанного значения);

P – размер частиц d80 на выходе, указанный в мкм (т. е. 80% частиц должно быть менее указанного значения).

$$W = \frac{10\omega_i}{\sqrt{P}} - \frac{10\omega_i}{\sqrt{A}} = 10\omega_i \left(\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{A}} \right) kWh/st.$$

Коэффициент размоловоспособности по Хардгроуву:

Material Материал	HGI
Anthracite Антрацит	30–50
Bituminous coal Битуминозный уголь	50–55
Clay Глинистое сырье	97
Feldspar Полевой шпат	43
Iron oxide Оксид железа	57
Lime Гидроксид кальция	105
Limestone Известняк	54–78
Siliceous sand Кварцевый песок	24–55



Вальцы тонкого помола компании Verdes

Это соотношение применяется для размола с водой, так как в случае сухого измельчения индекс работы Бонда увеличивается на 4/3ds:

$$\omega_{is} = \frac{4}{3} \omega_i = 3,45 \frac{Hr}{\gamma} kWh/st.$$

Определить Hr неоднородного материала всегда сложно, поэтому его обычно определяют экспериментальным методом (см. табл.).

Индекс (коэффициент размоловоспособности) Хардгроува также используется для оценки измельчаемости материалов. Это растущий показатель, означающий, что чем выше значение, тем лучше измельчаемость материала.

Данный индекс (коэффициент) **измельчаемости (HGI)** связан с индексом работы Бонда ω_i следующим соотношением:

$$\omega_i = \frac{435}{HGI^{0,91}} kWh/st.$$

Испытания (тесты) для определения коэффициента (индекса) размоловоспособности по Хардгроуву и индекса работы Бонда широко используются в горнодобывающей промышленности для измерения легкости измельчения материалов. Испытания для определения коэффициента по Хардгроуву в основном используются для угля, испытания для определения индекса работы Бонда – к минералам твердых пород.

www.verdes.com

ИЗНОСОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ

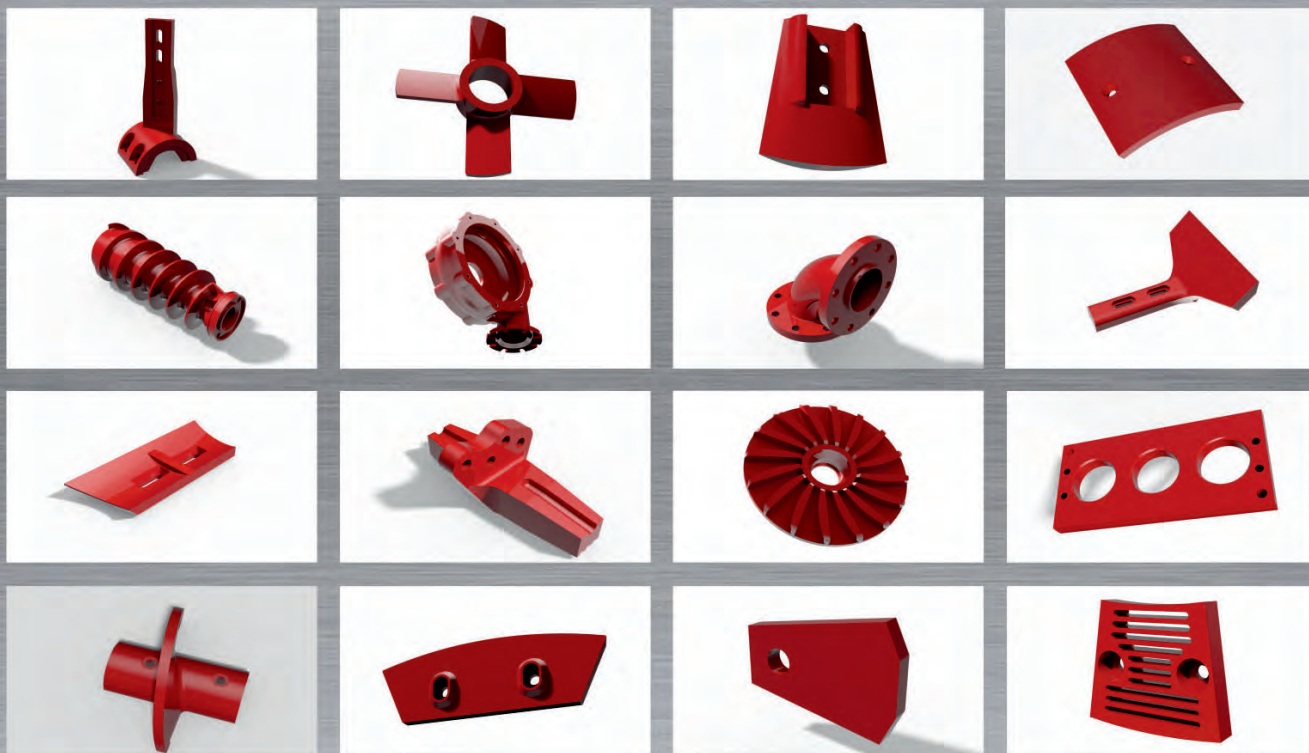
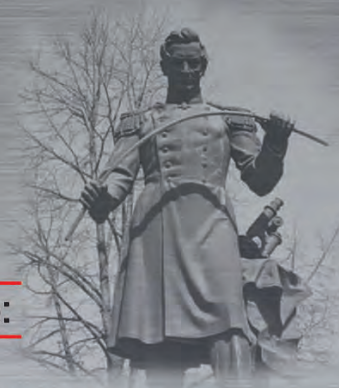
СДЕЛАНО НА УРАЛЕ!

Ремонтно-механический завод «НИХАРД-СЕРВИС» производит:

- била, молотки, щёки и футеровки дробилок;
- футеровки течек и рудоспусков;
- лопасти, брони и спицы бетоносмесителей;
- шнеки эсрудеров и глиносмесителей;
- детали, работающие в условиях абразивного износа;
- корпуса и крыльчатки шламовых насосов;
- бронефутеровки шаровых и стержневых мельниц;
- трубопроводы пневмотранспорта;
- лопасти шламовых бассейнов;
- сита грохотов.

Ремонтно-механический завод «НИХАРД-СЕРВИС» - это:

- 250 лет лучших традиций златоустовской металлургии;
- многолетний опыт работы с производителями строительных материалов;
- сотрудничество с Южно-Уральским Государственным Университетом, участие в Союзе производителей бетона России;
- непрерывные исследования по повышению износостойкости материалов.



456209, Челябинская область,
г. Златоуст, ул. Им. А.Н. Радищева, 3

+7 (351) 777-62-09;
+7 (351) 325-01-34

E-mail:
rmz.nihard@mail.ru



УДК 666.7:[658.567.1:669.1]

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-17-24>

А.Ю. СТОЛБОУШКИН¹, д-р техн. наук (stanyr@list.ru), Д.В. АКСТ¹, инженер (daniel_axt@mail.ru);
 О.А. ФОМИНА², канд. техн. наук (soa2@mail.ru)

¹ Сибирский государственный индустриальный университет (654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

² Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (101990, Москва, Малый Харитоньевский пер., 4)

Фазовый состав и свойства керамических матричных композитов с добавкой феррованадиевого шлака

Представлены результаты исследований фазового состава керамических матричных композитов на основе шламистых железорудных отходов с добавками суглинка и феррованадиевого шлака. Приведены химический, гранулометрический и минеральный составы сырьевых материалов. Рассмотрены составы трехкомпонентных шихт и техника приготовления объемно-окрашенных образцов с матричной структурой разработанным способом. С использованием предложенного метода комплексного исследования переходного слоя ядро–оболочка в керамических матричных композитах описаны особенности формирования фаз при обжиге дисперсионной среды и дисперсной фазы керамики. Показано, что добавка пентаоксида ванадия в матрицу приводит к снижению температуры спекания керамического материала и способствует появлению жидкой пиропластичной фазы, это обеспечивает взаимодействие оксидов ядра и оболочки (матрицы) в переходной зоне и кристаллизацию новых минеральных фаз. Установлена зависимость между полной пористостью керамического материала и процентным содержанием феррованадиевого шлака в составе шихты. Увеличение его концентрации в оболочке приводит к окрашиванию образцов в черно-коричневый цвет, увеличению их огневой усадки и средней плотности. Установлено, что сформированная при обжиге дисперсионная среда (матрица) представляет собой перекристаллизованную связку из аморфной и минеральной фаз, образует пространственно организованный каркас и обеспечивает спекание и высокую прочность керамического матричного композита (50–60 МПа).

Ключевые слова: керамические матричные композиты, фазовый состав, матричная структура, феррованадиевый шлак, красящая добавка.

Для цитирования: Столбоушкин А.Ю., Акст Д.В., Фомина О.А. Фазовый состав и свойства керамических матричных композитов с добавкой феррованадиевого шлака // *Строительные материалы*. 2022. № 4. С. 17–24.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-17-24>

A.Yu. STOLBOUSHKIN¹, Doctor of Sciences (Engineering) (stanyr@list.ru), D.V. AKST¹, Engineer (daniel_axt@mail.ru),

O.A. FOMINA², Candidate of Sciences (Engineering) (soa2@mail.ru)

¹ Siberian State Industrial University (42, Kirova Street, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation)

² Mechanical Engineering Research Institute of the RAS (4, Maly Kharitonievsky Lane, Moscow, 101990, Russian Federation)

Phase Composition and Properties of Ceramic Matrix Composites with the Addition of Ferrovandium Slag

In the current work there are presented results of studies of the phase composition of ceramic matrix composites based on slimy iron ore waste with additions of loam and ferrovandium slag. The chemical, granulometric and mineral compositions of raw materials are given. The compositions of three-component batches and the technique for preparing volume-colored samples with a matrix structure by the developed method are considered. It has been described the features of the formation of phases during firing of the dispersion medium and the dispersed phase of ceramics using the developed method for a comprehensive study of the core–shell transition layer in ceramic matrix composites. It has been shown that the addition of vanadium pentoxide to the matrix leads to a decrease in the sintering temperature of the ceramic material and promotes the appearance of a liquid pyroplastic phase, which ensures the interaction of core and shell (matrix) oxides in the transition zone and the crystallization of new mineral phases. It was established the dependence between the total porosity of the ceramic material and the percentage of ferrovandium slag in the charge. An increase of its concentration in the shell leads to a black-brown staining of the samples, an increase in their fire shrinkage and average density. It has been established that the dispersion medium (matrix) formed during firing is a recrystallized binder of amorphous and mineral phases, forms a spatially organized framework and ensures sintering and high strength of the ceramic matrix composite (50–60 MPa).

Keywords: ceramic matrix composites, phase composition, matrix structure, ferrovandium slag, coloring additive.

For citation: Stolboushkin A.Yu., Akst D.V., Fomina O.A. Phase composition and properties of ceramic matrix composites with the addition of ferrovandium slag. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 4, pp. 17–24. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-17-24>

Эксплуатационные свойства керамических изделий, как правило, определяются завершенностью протекания твердо- и жидкофазных реакций и зависят от множества факторов, запускающих процессы спекания при обжиге керамики. Прежде всего это дисперсность сырьевых материалов, их химический, количественный и качественный фазовый составы, технологические параметры обжига [1–8]. Кроме того, большое значение имеет формирование будущей структуры керамических изделий. При обжиге появление эвтектик обуславливает более раннее про-

текание реакций в твердой фазе с нуклеацией новых минералов, спаянных стеклофазой [9–12].

Благодаря новому способу изготовления стеновых материалов, при котором целенаправленно формируется пространственно организованный каркас [13], были получены керамические матричные композиты на основе неспекающегося, малопластичного техногенного и природного сырья [14]. Одним из перспективных направлений в этой технологии является разработка декоративных керамических строительных материалов матричной структуры.

В настоящее время в условиях беспрецедентной санкционной политики западных стран в отношении России импортозамещение во всех сферах жизнедеятельности государства является одной из главных и приоритетных задач. Проведенные исследования показали, что в технологии объемного окрашивания замена импортных красящих пигментов возможна за счет использования отечественных минеральных добавок, в том числе и на основе промышленных отходов, содержащих соли и оксиды металлов.

Авторами разработаны научные принципы структурного окрашивания керамических матричных композитов, при этом интенсивное окрашивание керамики при минимальном количестве добавки достигается за счет ее концентрации в тонком слое по поверхности гранул [15].

Цель настоящей работы заключалась в исследовании фазового состава и эксплуатационных свойств керамических матричных композитов с добавкой феррованадиевого шлака.

Объекты исследований

В качестве сырьевых материалов использовалось следующее техногенное и природное сырье. Керамическое сырье – шламистая часть отходов обогащения железных руд (ОЖР) Абагурской обогатительно-агломерационной фабрики (Кемеровская обл. –

Кузбасс). Хвосты являются тонкодисперсным, малоэластичным материалом с низкой чувствительностью к сушке. Минеральный состав ОЖР представлен полевыми шпатами, кварцем, слюдой, пироксеном, амфиболами, хлоритами железистого типа с небольшим содержанием смешанослойных образований.

Корректирующая добавка – суглинок Бердского месторождения (Новосибирская обл.). Суглинок относится к полукиислому, умереннопластичному, легкоплавкому глинистому сырью монтмориллонитогидрослюдистой группы с низким содержанием крупнозернистых включений. В качестве окрашивающей добавки использовался феррованадиевый шлак (ФВШ) АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат» (Свердловская обл.). Химический и гранулометрический составы сырьевых материалов приведены в табл. 1, 2.

Результаты и обсуждение

Как уже было отмечено, с целью повышения красящего эффекта от окрашивающей техногенной добавки использовался разработанный авторами способ получения стеновых керамических материалов матричной структуры [13].

Составы шихт. Для получения объемно-окрашенных образцов готовилась трехкомпонентная шихта. Составы сырьевых смесей приведены в табл. 3.

**Таблица 1
Table 1**

**Химический состав сырьевых материалов
Chemical composition of raw materials**

Сырьевые материалы	Содержание оксидов на абсолютно сухое вещество, %											
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	SO ₃	V ₂ O ₅	MnO ₂	ППП
ОЖР	33,62	9,24	19,05	13,81	10,68	0,42	0,93	0,41	0,98	–	0,47	10,25
Суглинок	54,35	13,65	7,97	7,48	3,18	0,46	2,87	0,78	0,21	–	0,17	8,85
ФВШ	11,37	3,54	27,06	2,96	6,38	0,13	0,08	8,87	–	23,69	9,28	–

**Таблица 2
Table 2**

**Гранулометрический состав сырьевых материалов
Granulometric composition of raw materials**

Сырьевые материалы	Содержание фракций в мм, %				
	>0,06	0,06–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
ОЖР	38,42	31,84	9,93	15,67	4,14
Суглинок	2,73	37,53	22,23	33,38	4,13
ФВШ	0,86	12,1	16,29	54,73	16,02

**Таблица 3
Table 3**

**Состав керамических шихт
Composition of ceramic batches**

Сырьевой компонент	Содержание компонента в составе шихты, мас. %			
	1-й состав	2-й состав	3-й состав	4-й состав
ОЖР	80	80	80	80
Суглинок	20	18	15	10
ФВШ	0	2	5	10

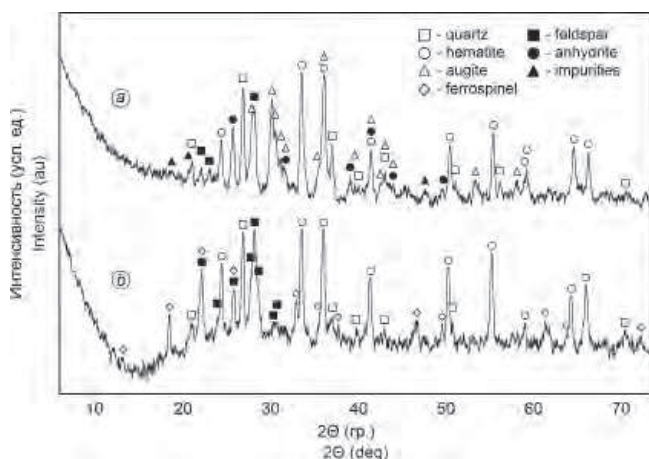


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы дисперсной фазы (а) и дисперсионной среды (б) керамических матричных композитов с добавкой феррованадиевого шлака, обожженных при 1050°C с изотермической выдержкой в течение 1 ч

Fig. 1. X-ray diffraction patterns of the dispersed phase (a) and the dispersion medium (b) of ceramic matrix composites with the addition of ferrovandium slag fired at 1050°C with isothermal exposure for 1 hour

Приготовление образцов. Высушенные до остаточной влажности 1–2% ОЖР гранулировались при одновременном увлажнении в турболопастном смесителе-грануляторе. Угловая скорость вращения лопастной мешалки, обеспечивающая формирование гранул преимущественного диаметра 1–3 мм, состав-

ляла 20–25 с⁻¹. После завершения процесса грануляции для формирования оболочки гранул в смеситель подавалась тонкодисперсная смесь суглинка и ФВШ. При этом фактическая формовочная влажность гранулята составила 11–12%.

Из гранулированных шихт различного состава (табл. 3) формовались образцы-цилиндры при давлении прессования 15–17 МПа. Режим прессования двухступенчатый с односторонним приложением нагрузки. Обжиг производился в лабораторной муфельной печи с четырехчасовой выдержкой при температуре 1050°C.

Исследование фазового состава. Фазовый состав керамических матричных композитов с различным содержанием феррованадиевого шлака определялся комплексом методов, включая рентгеновскую дифрактометрию, петрографию, электронную микроскопию и микрорентгеноспектральный анализ. С учетом выраженного структурного различия пространственно-организованных фаз полученных керамических материалов в работе использовался метод комплексного исследования переходного слоя ядро–оболочка в керамических матричных композитах [16].

Анализ порошковых рентгенограмм (рис. 1) показал, что после обжига твердая фаза ядер, сформированных из ОЖР, представлена следующими минералами: гематит, авгит, кварц, полевои шпат и анги-

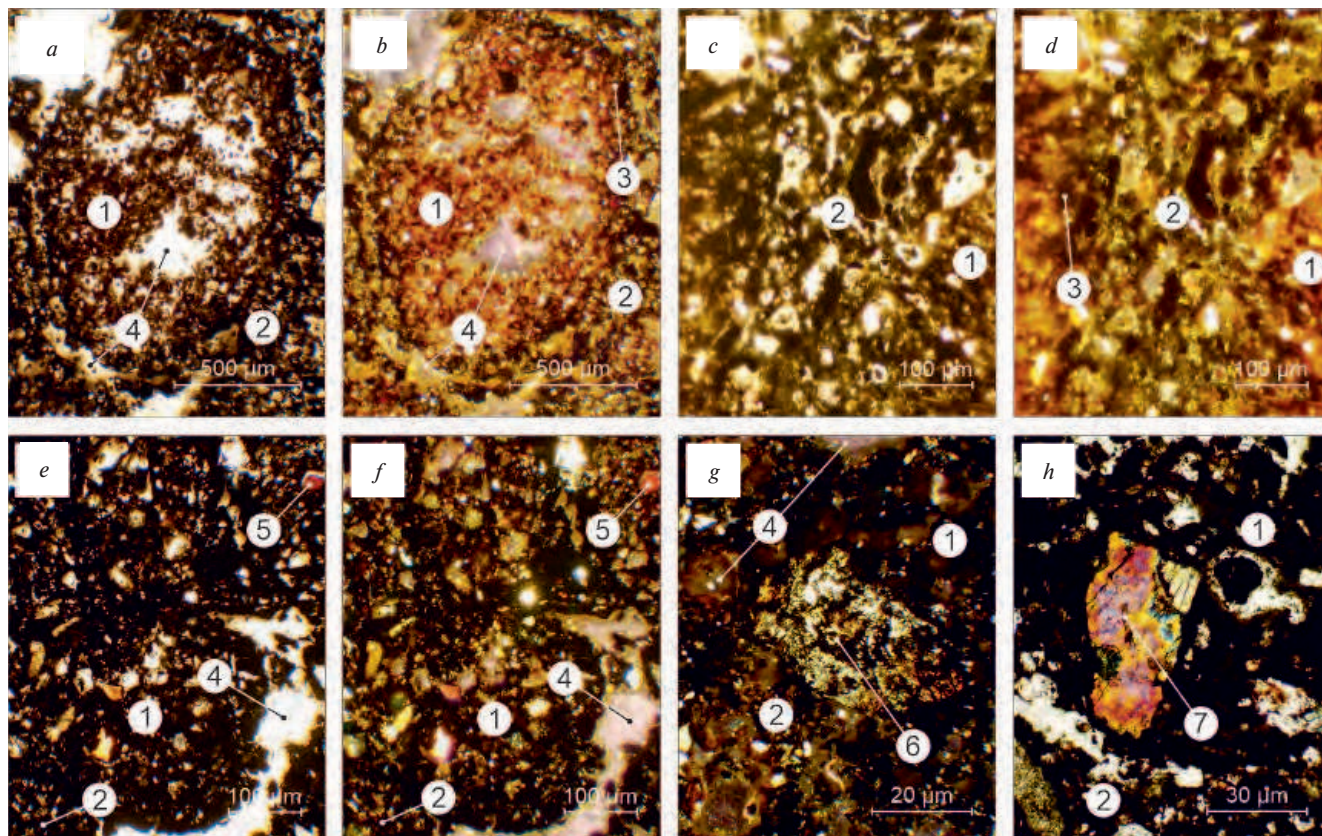


Рис. 2. Петрография керамических матричных композитов с добавкой феррованадиевого шлака в количестве, мас. %: (а–д) – 2; (е, ф) – 5; (г, h) – 10. Шлиф, проходящий свет: николи II (а, с, е); николи + (b, d, f, g, h): 1 – ядро; 2 – матрица; 3 – переходный слой; 4 – пора; 5 – ванадат железа; 6 – кварц; 7 – авгит

Fig. 2. Petrography of ceramic matrix composites with the addition of ferrovandium slag in the amount, wt. %: (a–d) – 2; (e, f) – 5; (g, h) – 10. Thin section, transmitted light: nicols II (a, c, e); nicols + (b, d, f, g, h): 1 – core; 2 – matrix; 3 – transition layer; 4 – pore; 5 – iron vanadate; 6 – quartz; 7 – augite

Таблица 4
Table 4

Межплоскостные расстояния основных минеральных фаз ядра и матрицы
в керамических матричных композитах с добавкой феррованадиевого шлака
Interplanar joints of the main mineral phases of the core and matrix in ceramic matrix composites
with the addition of ferrovanadium slag

d/n, нм	Минерал	d/n, нм	Минерал	d/n, нм	Минерал	d/n, нм	Минерал
Дисперсная фаза (ядро) матричного композита (рис. 1, a)							
0,148	гематит	0,187	ангидрит	0,251	гематит	0,335	кварц
0,167	кварц	0,221	гематит	0,269	гематит	0,351	ангидрит
0,169	гематит	0,228	кварц	0,290	авгит	0,390	полевошпатовый шпат
0,175	авгит	0,233	ангидрит	0,301	авгит	0,407	полевошпатовый шпат
0,184	гематит	0,245	кварц	0,320	полевошпатовый шпат	0,426	кварц
Дисперсионная среда (матрица) матричного композита (рис. 1, b)							
0,145	гематит	0,196	шпинель	0,274	шпинель	0,375	полевошпатовый шпат
0,154	шпинель	0,212	кварц	0,319	полевошпатовый шпат	0,405	полевошпатовый шпат
0,169	гематит	0,220	гематит	0,334	кварц	0,425	кварц
0,182	кварц	0,244	кварц	0,347	полевошпатовый шпат	0,485	шпинель
0,183	гематит	0,251	гематит	0,368	гематит	0,692	шпинель

дрит. Также весьма вероятно наличие магнетита, мелилита, флогопита и примесей. Основными минеральными фазами матрицы, сформированной из ФВШ и суглинка, являются кварц, гематит и кальциевый полевошпатовый шпат, присутствует большое количество примесей со структурой шпинели: магнетит $Fe^{2+}Fe^{3+}_2O_4$, кульсонит $Fe^{2+}V^{3+}_2O_4$ и магнезиоферрит $Mg^{2+}Fe^{3+}_2O_4$. Кроме того, в дисперсионной среде встречаются зародышевые кристаллы ванадата $FeVO_4$ и метаванадата железа (III) $Fe(VO_3)_3$, отмечаются следы ферритов-шпинелей марганца $Mn^{2+}Fe^{3+}_2O_4$. Расшифровка рентгеновских дифрактограмм приведена в табл. 4.

Добавка пентаоксида ванадия в матрицу приводит к снижению температуры спекания керамического материала и способствует появлению жидкой пиропластичной фазы при обжиге, наличие которой подтверждается выраженным аморфным гало на дифрак-

тограмме (рис. 1, b). В результате возникновения расплава обеспечивается взаимодействие оксидов ядра и оболочки в переходной зоне и кристаллизацию новых минеральных фаз при температурах свыше $750^{\circ}C$.

На петрографических снимках шлифов матричных композитов с добавкой ФВШ (рис. 2, c) между ядрами выделяется матричный слой более темного цвета, не меняющий окраску в скрещенных николях (рис. 2, d). Оболочка и переходная зона композита не имеют четких границ и более аморфизованы [17].

По объему ядер распределены полупрозрачные, белые микрокристаллы с низким и умеренным оптическим рельефом и показателями преломления $n=1,55-1,59$. Предположительно минералы относятся к реликтовому кварцу и полевошпатовому шпату. Кроме того, в ядре фиксируются точечные вкрапления темно-коричневого цвета, которые, вероятно, являются новообразованиями гематитовой и магнетитовой природы, поскольку имеют высокий оптический рельеф, различимую анизотропию и абсолютные показатели преломления $n=2,42-3,21$.

Исследование фазового состава и микроструктуры образцов с 5–10 мас. % ФВШ (рис. 2, e–h) показало, что в ядрах и оболочке присутствуют железистые минералы в виде сложных агрегатов, темных кристаллов гематита пластинчатой и сферолитовой формы.

В процессе обжига, вероятно, происходят фазовые превращения оксидов и гидроксидов железа Fe^{2+} , Fe^{3+} , широко представленных в железорудных отходах и феррованадиевом шлаке. В результате протекания реакций образуются дисперсные (менее 1 мкм) включения и аморфные пленки на поверхности кварца, пироксенов и других минералов (рис. 2, g). В свою очередь, авгит фиксируется в скрещенных николях по характерной поляризации и плеохроизму, как полупрозрачные минералы с

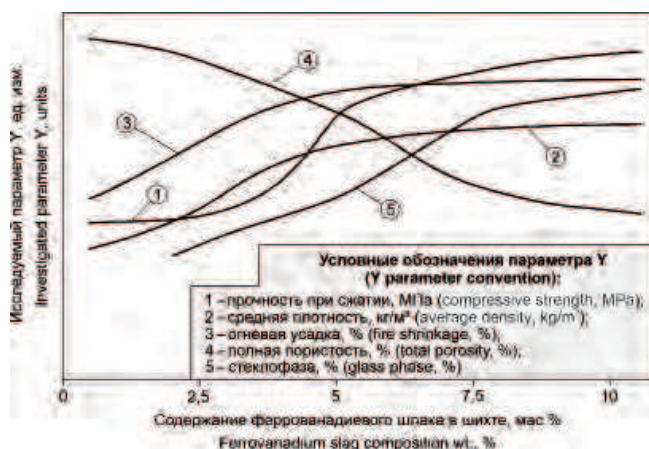


Рис. 3. Зависимость свойств керамических матричных композитов от количества добавки феррованадиевого шлака в составе шихты
Fig. 3. Dependence of the properties of ceramic matrix composites on the amount of addition of ferrovanadium slag in the composition of the charge

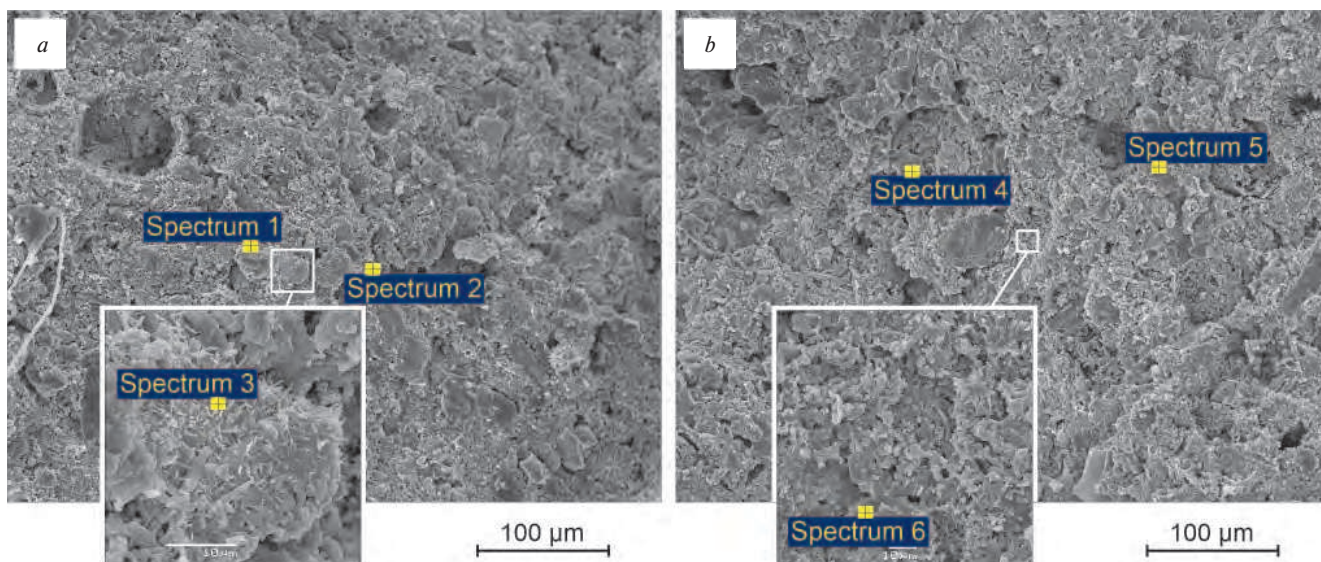


Рис. 4. Микрофотографии дисперсной фазы (а) и дисперсионной среды (b) керамического матричного композита с добавкой феррованадиевого шлака, сканирующий электронный микроскоп

Fig. 4. Micrographs of the dispersed phase (a) and the dispersion medium (b) of the ceramic matrix composite with the addition of ferrovanadium slag, scanning electron microscope

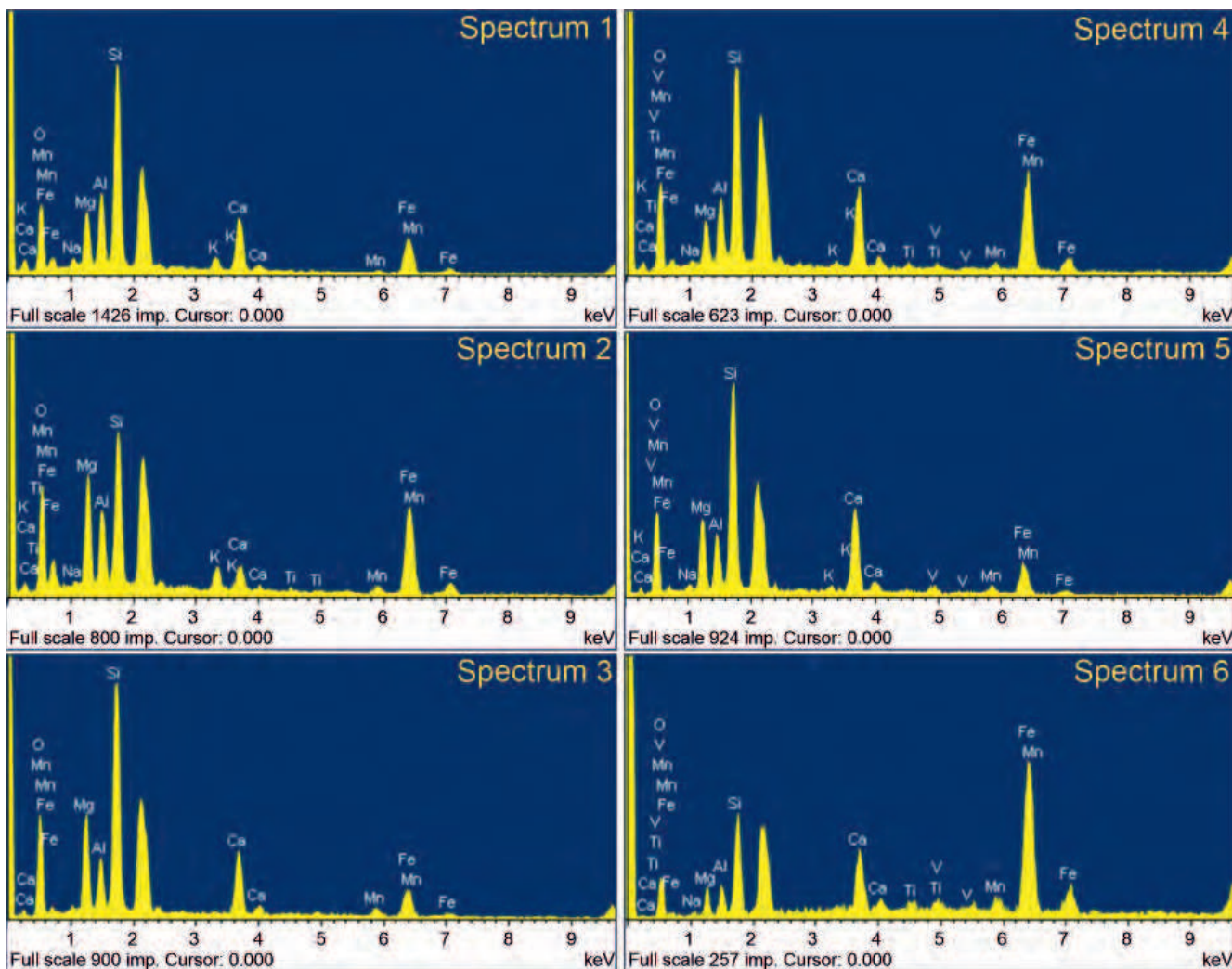


Рис. 5. Результаты микрорентгеноспектрального анализа дисперсной фазы (спектры 1–3) и дисперсионной среды (спектры 4–6) керамического матричного композита с добавкой феррованадиевого шлака (№ спектров согласно рис. 4)

Fig. 5. Results of X-ray microspectral analysis of the dispersed phase (spectra 1–3) and the dispersion medium (spectra 4–6) of the ceramic matrix composite with the addition of ferrovanadium slag (spectra No. according to Fig. 4)

Таблица 5
Table 5

Атомная концентрация элементов в ядре и матрице керамического матричного композита с добавкой феррованадиевого шлака (№ спектров согласно рис. 5)
Atomic concentration of elements in the core and matrix of the ceramic matrix composite with the addition of ferrovandium slag (No. of spectra according to Fig. 5)

№ спектра	Содержание химических элементов, ат. %											
	O	Mg	Al	Si	Ti	K	Na	Ca	Fe	Mn	V	Σ
Дисперсная фаза (ядро) матричного композита (рис. 4, а)												
1	46,13	7,41	7,77	22,47	–	1,44	1,36	5,65	7,39	0,38	–	100
2	45,49	13,42	7,57	14,68	0,26	1,74	0,49	1,94	13,34	1,07	–	100
3	51,22	10,71	4,59	21,84	–	–	–	5,64	4,79	1,21	–	100
Среднее	47,61	10,51	6,64	19,66	0,09	1,06	0,62	4,41	8,51	0,89	–	100
Дисперсионная среда (матрица) матричного композита (рис. 4, б)												
4	45,66	5,61	6,05	18,11	0,46	0,18	0,87	6,6	15,29	0,80	0,37	100
5	52,42	8,17	4,71	18,94	–	0,34	0,69	7,67	5,21	1	0,85	100
6	28,11	5,36	4,18	13,25	1,07	–	1,46	7,07	36,11	2,37	1,02	100
Среднее	42,06	6,38	4,98	16,77	0,51	0,17	1,01	7,11	18,87	1,39	0,75	100

раковистым изломом и показателями преломления 1,68–1,73 (рис. 2, *h*).

Наряду с реликтовым кварцем, пироксеном и железистыми включениями в застывшей темной стеклофазе фиксируются частицы образованных при обжиге микрокристаллов размером 5–25 мкм. Новые минеральные фазы имеют сходные оптические свойства: высокий оптический рельеф, различимый плеохроизм, красно-коричневые внутренние рефлексии в скрещенных николях – и, вероятно, относятся к сложным соединениям (группа шпинелидов, ферриты-шпинели и ванадаты железа).

Газовая фаза ядер керамического композита в основном представлена замкнутыми микропорами размером до 150 мкм (рис. 2, *a, b*). Их распределение и локализация зависят в основном от размера и взаимного расположения реликтовых минералов и частиц, образованных при обжиге ОЖР.

В керамических матричных композитах с содержанием ванадиевого шлака в оболочке более 5 мас. % граница между ядрами менее выражена и иногда диагностируется только по кольцевым макропорам толщиной 30–70 мкм (рис. 2, *e, f*). Их обилие на границе раздела фаз связано с запрессовкой воздуха при формовании керамики и процессами газообразования, сопровождающимися химическими реакциями в переходной зоне. Отмечается характерное заполнение порового пространства спекшимся криптокристаллическим веществом. Стенки пор покрыты зародышевыми кристаллами, сцементированными между собой стеклофазой, в связи с чем практически все поры в матрице и переходном слое являются замкнутыми и по большей части морозобезопасными.

Исследование зависимости свойств образцов. На рис. 3 приведены графические зависимости полной пористости керамических матричных композитов и количества образовавшейся при обжиге пиропластичной фазы от процентного содержания ферро-

ванадиевого шлака в составе шихты. Можно отметить, что с увеличением концентрации V_2O_5 в составе опудривающей добавки количество расплава при обжиге значительно возрастает, а пористость, напротив, снижается. При дальнейшем увеличении концентрации хромофора (5–10 мас. %) в оболочке происходит обильное нарастание стеклофазы, которая проникает в структуру ядер, связывает частицы матричного композита между собой и катализирует процессы образования новых минеральных фаз. При этом образцы окрашиваются в черно-коричневый цвет, увеличиваются их огневая усадка, средняя плотность и прочность, что свидетельствует о спекании керамического материала (рис. 3).

Исследование особенностей микроструктуры и фазового состава образцов. Результаты электронно-микроскопических исследований микроструктуры и фазового состава керамических матричных композитов в зависимости от количества пентаоксида ванадия показаны на рис. 4. При добавке 2–5 мас. % ФВШ в ядрах зафиксированы минералы выраженной огранки размером 10–40 мкм, имеющие острые или оплавленные углы (рис. 4, *a*). В образцах с содержанием 10 мас. % ФВШ преобладают монолитные участки структуры с ограниченными, скелетными кристаллами и затвердевшим расплавом в виде стекла, имеющего развитую поровую текстуру неправильной формы.

При большом увеличении в приповерхностной зоне ядер затвердевший агрегат имеет порфиридную структуру, обусловленную формированием новых минеральных фаз (рис. 4, *b*). Образующийся в результате взаимодействия оксидов железа и ванадия расплав после кристаллизации связывает зерна реликтовых минералов и новообразованные кристаллы в единое целое, что обеспечивает высокие прочностные показатели керамического материала (более 50 МПа), см. рис. 3.

Результаты спектрального анализа ядра и оболочек матричного композита приведены на рис. 5, а; атомная концентрация химических элементов для каждого спектра представлена в табл. 5. При этом номера спектров соответствуют точкам на поверхности композиционного материала, отмеченным на рис. 4.

Исследование элементного состава керамических образцов каркасно-окрашенной структуры показало наличие в дисперсной фазе большого количества железа (8,51 ат. %), магния (10,51 ат. %) и кремния (21,84 ат. %), что объясняется их преобладанием в гранулах из шламистых железорудных отходов и косвенно подтверждается формированием при обжиге кристалликов ферроавгита, присутствующих на шлифах. В отличие от ядер в матрице фиксируется ванадий (0,75 ат. %), сравнительно большее количество железа (18,87 ат. %), кальция (7,11 ат. %), титана (0,51 ат. %) и марганца (1,39 ат. %). В совокупности соединения этих металлов с кислородом обеспечивают интенсивное протекание процессов спекания керамического композита с образованием жидкой пиропластичной фазы и формированием сложных соединений шпинелевой структуры, ферритов и ванадатов.

Таким образом, установленный механизм фазообразования и спекания керамических матричных композитов с добавкой феррованадиевого шлака согласуется с результатами проведения оптической и электронной микроскопии.

Список литературы

1. Будников П.П., Бережной А.С. Реакции в твердых фазах. М.: Промстройиздат, 1949. 192 с.
2. Яценко Н.Д., Зубехин А.П., Голованова С.П., Вильбицкая Н.А. Особенности формирования кристаллических фаз высококальциевой керамики // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Сер.: Технические науки*. 2001. № 4. С. 87–89.
3. Гальперина М.К., Тарантул Н.П. Фазовые изменения при скоростном обжиге wollastonитсодержащих плиток // *Стекло и керамика*. 1985. № 11. С. 20–21.
4. Бурученко А.Е., Верещагин В.И., Мушарапова С.И., Меньшикова В.К. Влияние дисперсности непластичных компонентов керамических масс на спекание и свойства строительной керамики // *Строительные материалы*. 2015. № 8. С. 64–67.
5. Matteucci F., Cruciani G., Dondi M., Raimondo M. The role of counterions (Mo, Nb, Sb, W) in Cr-, Mn-, Ni- and V-doped rutile ceramic pigments. Part 1. Crystal structure and phase transformations // *Ceramics International*. 2006. Vol. 31, pp. 385–392. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2005.03.014>
6. Li Y., Jiang J., Zhao J. X-ray diffraction and Mössbauer studies of phase transformation in manganese ferrite prepared by combustion synthesis

Заключение

По результатам комплексного дифференцированного исследования дисперсионной среды и дисперсной фазы керамических образцов с использованием разработанного метода [16] и на основании данных рентгенофазового анализа, петрографии, растровой электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа установлены фазовый состав и свойства керамических матричных композитов с добавкой феррованадиевого шлака:

– дисперсная фаза (ядро), сформированная при обжиге из шламистой части отходов обогащения железных руд, представлена сложным пироксеном типа авгита, гематитом, кварцем и анортитом. Зерна кристаллических фаз спаяны между собой аморфизованным веществом, образующимся за счет легкоплавких примесей;

– дисперсионная среда (матрица), сформированная при обжиге из смеси суглинка и феррованадиевого шлака, представляет собой перекристаллизованную в процессе обжига связку из аморфной и минеральной фаз. Матрица, в свою очередь, имеет внутреннее армирование из реликтового кварца и анортита, спаянных между собой темной железистой стеклофазой, которая в процессе остывания образует пространственно организованный каркас, обеспечивающий выраженную черно-коричневую окраску и высокую прочность керамического матричного композита (50–60 МПа).

References

1. Budnikov P.P., Berezhnoi A.S. Reaktsii v tverdykh fazakh [Reactions in solid phases]. Moscow: Promstroizdat. 1949. 192 p.
2. Yatsenko N.D., Zubekhin A.P., Golovanova S.P., Vil'bitskaya N.A. Features of the formation of crystalline phases of high-calcium ceramics. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Tekhnicheskie nauki*. 2001. No. 4, pp. 87–89. (In Russian).
3. Gal'perina M.K., Tarantul N.P. Phase changes during high-speed firing of wollastonite-containing tiles. *Steklo i keramika*. 1985. No. 11, pp. 20–21. (In Russian).
4. Buruchenko A.E., Vereshchagin V.I., Musharapova S.I., Men'shikova V.K. Influence of dispersity of non-plastic components of ceramic masses on sintering and properties of building ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 8, pp. 64–67.
5. Matteucci F., Cruciani G., Dondi M., Raimondo M. The role of counterions (Mo, Nb, Sb, W) in Cr-, Mn-, Ni- and V-doped rutile ceramic pigments. Part 1. Crystal structure and phase transformations. *Ceramics International*. 2006. Vol. 31, pp. 385–392. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2005.03.014>
6. Li Y., Jiang J., Zhao J. X-ray diffraction and Mössbauer studies of phase transformation in manganese ferrite prepared by combustion synthesis

- method // *Materials Chemistry and Physics*. 2004. Vol. 87. pp. 91–95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2004.05.007>
7. Гегузин Я.Е. Физика спекания. М.: Наука, 1984. 312 с.
 8. Будников П.П. Химия и технология строительных материалов. М.: Госстройиздат, 1965. 248 с.
 9. Явруян Х.С., Котляр В.Д., Гайшун Е.С., Охотная А.С. Фазовые преобразования при обжиге отсевов от переработки террикоников Восточного Донбасса // *Строительные материалы*. 2019. № 4. С. 3–7. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-769-4-3-7>
 10. Лотов В.А. Взаимосвязь изменений линейных размеров и объемного фазового состава керамики при спекании // *Стекло и керамика*. 2005. № 1. С. 19–23.
 11. Rathossi C., Pontikes Y. Effect of firing temperature and atmosphere on ceramics made of NW Peloponnese clay sediments. Part I: Reaction paths, crystalline phases, microstructure and colour // *Journal of the European Ceramic Society*. 2010. No. 30, pp. 1841–1851. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.02.002>
 12. Салахов А.М., Тагиров Л.Р. Структурообразование керамики из глин, формирующих при обжиге различные минеральные фазы // *Строительные материалы*. 2015. № 8. С. 68–74.
 13. Патент РФ 2500647. Сырьевая смесь для изготовления стеновой керамики и способ ее получения / Столбоушкин А.Ю., Стороженко Г.И., Иванов А.И., Бердов Г.И., Столбоушкина О.А. Заявл. 20.04.2012. Оpubл. 10.12.2013. Бюл. № 34.
 14. Столбоушкин А.Ю. Перспективное направление развития строительных керамических материалов из низкокачественного сырья // *Строительные материалы*. 2018. № 4. С. 24–28. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-758-4-24-28>
 15. Акст Д.В., Столбоушкин А.Ю., Фомина О.А. Стеновые керамические материалы объемного окрашивания с матричной структурой // *Строительные материалы*. 2021. № 12. С. 9–16. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-798-12-9-16>
 16. Столбоушкин А.Ю. Метод комплексного исследования переходного слоя ядро–оболочка в керамических матричных композитах полусухого прессования // *Строительные материалы*. 2019. № 9. С. 28–35. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-774-9-28-35>
 17. Stolboushkin A.Yu., Akst D.V. Investigation of the decorative ceramics of matrix structure from iron-ore waste with vanadium component addition // *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931, pp. 520–525. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.520>
 - method. *Materials Chemistry and Physics*. 2004. Vol. 87, pp. 91–95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2004.05.007>
 7. Geguzin Ya.E. Fizika spekaniya [Physics of sintering]. Moscow: Nauka. 1984. 312 p.
 8. Budnikov P.P. Khimiya i tekhnologiya stroitel'nykh materialov [Chemistry and technology of building materials]. Moscow: Gosstroizdat. 1965. 248 p.
 9. Yavruyan Kh.S., Kotlyar V.D., Gaishun E.S., Okhotnaya A.S. Phase transformations happening at roasting of screenings from the processing waste heaps of Eastern Donbass. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 4, pp. 3–7. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-769-4-3-7>
 10. Lotov V.A. Interrelation of changes in linear dimensions and volumetric phase composition of ceramics during sintering. *Steklo i keramika*. 2005. No. 1, pp. 19–23. (In Russian).
 11. Rathossi C., Pontikes Y. Effect of firing temperature and atmosphere on ceramics made of NW Peloponnese clay sediments. Part I: Reaction paths, crystalline phases, microstructure and colour. *Journal of the European Ceramic Society*. 2010. No. 30, pp. 1841–1851. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.02.002>
 12. Salakhov A.M., Tagirov L.R. Structure formation of ceramic with clays which form various phases at burning. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 8, pp. 68–74. (In Russian).
 13. Patent RF 2500647. Syr'evaya smes' dlya izgotovleniya stenovoi keramiki i sposob ee polucheniya [Raw mixture for the production of wall ceramics and method for its obtaining]. Stolboushkin A.Yu., Storozhenko G.I., Ivanov A.I., Berdov G.I., Stolboushkina O.A. Declared 20.04.2012. Published 10.12.2013. Bulletin No. 34. (In Russian).
 14. Stolboushkin A.Yu. Perspective direction of development of building ceramic materials from low-grade stock. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 4, pp. 24–28. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-758-4-24-28>
 15. Akst D.V., Stolboushkin A.Yu., Fomina O.A. Wall ceramic materials of volume coloring with matrix structure. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 12, pp. 9–16. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-798-12-9-16>
 16. Stolboushkin A.Yu. Method for an integrated study of the transition layer of the core – shell in ceramic matrix composites of semi-dry pressing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 9, pp. 28–35. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-774-9-28-35>
 17. Stolboushkin A.Yu., Akst D.V. Investigation of the decorative ceramics of matrix structure from iron-ore waste with vanadium component addition. *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931, pp. 520–525. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.520>

УДК 691.421

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-25-30>

В.Д. КОТЛЯР, д-р техн. наук (diatomit_kvvd@mail.ru),
Ю.В. ТЕРЕХИНА, инженер, ст. преподаватель (yuliya-2209@mail.ru)

Донской государственный технический университет (344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)

Классификационные признаки и особенности опал-кристобалитовых опоковидных пород как сырья для стеновой керамики

Приведены данные об использовании опал-кристобалитовых опоковидных пород в производстве изделий стеновой керамики. Рассмотрены известные классификации опал-кристобалитовых пород как с геологической точки зрения, так и с технологической. Указывается, что разработка классификационных признаков пород и составление классификации, сочетающей в себе геологические и технологические аспекты, является важной задачей для расширения сырьевой базы, открытия новых месторождений и переоценки действующих. Приведено описание основных групп кремнистых опал-кристобалитовых пород: диатомитов, трепелов, опок – отличие между ними в том, что диатомиты и трепела являются размокаемыми в воде породами, а опоки – неразмокаемыми или трудноразмокаемыми. Рассмотрены особенности химического и минерального составов опоковидных пород и классического глинистого сырья. Описана схема взаимосвязи между дообжиговыми технологическими свойствами ОКОП, степенью их литификации, химико-минералогическим составом, структурными особенностями и физико-механическими свойствами. По степени литификации выделено четыре литолого-технологических типа опал-кристобалитовых опоковидных пород как сырья для производства изделий стеновой керамики: опоковидные глины; опоки глинистые; опоки классические; опоки окремненные. Отмечено, что особенностью ОКОП является зависимость их керамических технологических свойств от механической активации. Эта зависимость наблюдается с увеличением степени литификации породы: опоковидные глины → опоки глинистые → опоки классические → опоки окремненные. Сделан вывод, что опоковидные глины и различные виды опок с их промежуточными разновидностями являются перспективным сырьем для производства различных видов стеновой керамики.

Ключевые слова: опал-кристобалит, опока, трепел, диатомит, глинистое сырье, стеновая керамика, классификация, методика оценки.

Для цитирования: Котляр В.Д., Терехина Ю.В. Классификационные признаки и особенности опал-кристобалитовых опоковидных пород как сырья для стеновой керамики // *Строительные материалы*. 2022. № 4. С. 25–30.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-25-30>

V.D. KOTLYAR, Doctor of Science (Engineering), (diatomit_kvvd@mail.ru), Yu.V. TEREKHINA, Engineer, Lecturer, (yuliya-2209@mail.ru)
Don State Technical University, (1, Gagarina Square, Rostov-on-Don 344003, Russian Federation)

Classification Features and Peculiarities of Opal-Cristobalite Opoka-Like Rocks as Raw Materials for Wall Ceramics

Data on the use of opal-cristobalite opoka-like rocks in the production of wall ceramics are presented. The well-known classifications of opal-cristobalite rocks are considered both from a geological point of view and from a technological point of view. It is indicated that the development of classification features of rocks and the compilation of a classification combining geological and technological aspects is an important task for expanding the raw material base, discovering new deposits and revaluing existing ones. The description of the main groups of siliceous opal-cristobalite rocks is given: diatomites, tripolis, opokas – the difference between them is that diatomites and tripolis are rocks soaked in water, and opokas are non-soaked or hard-to-soaked. The features of chemical and mineral compositions of opoka-like rocks and classical clay raw materials are considered. The scheme of the relationship between the pre-firing and technological properties of the opokas, the degree of their lithification, chemical and mineralogical composition, structural features and physical and mechanical properties is described. According to the degree of lithification, 4 lithological and technological types of opal-cristobalite opocoid rocks were identified as raw materials for the production of wall ceramics: opoka-like clays, clay opokas; classic opokas; silicified opokas. It is noted that the peculiarity of the opoka is the dependence of their ceramic technological properties on their mechanical activation. This dependence is observed with an increase in the degree of lithification of the rock: opoka-like clays → clay opokas → classic opokas → silicified opokas. It is concluded that that opoka-like clays and various types of opokas with their intermediate varieties are promising raw materials for the production of various types of wall ceramics.

Keywords: opal-cristobalite, opoka, tripoli, diatomite, clay raw materials, wall ceramics, classification, method of evaluation.

For citation: Kotlyar V.D., Terekhina Yu.V. Classification features and peculiarities of opal-cristobalite opoka-like rocks as raw materials for wall ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 4, pp. 25–30. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-25-30>

Кремнистые опал-кристобалитовые породы являются одними из широко распространенных осадочных пород, имеющих во многих регионах России. Их особенностью является преобладание в породе опалового и опал-кристобалитового кремнезема различной степени структурного совершенства и тонкопористой структуры. Запасы и прогнозные

ресурсы опал-кристобалитовых пород (ОКП) в России исчисляются сотнями миллионов тонн [1–3]. Благодаря особому составу и свойствам они находят широкое применение во многих областях – в цементной, нефтехимической, пищевой, бумажной промышленности. Также используются в сельском хозяйстве, для получения теплоизоляционных мате-

риалов, заполнителей, сорбентов, как фильтровальные материалы. Имеются научно-практические разработки и исследования по использованию кремнистых пород для производства различных видов стеновой керамики: облегченный рядовой кирпич, лицевой и клинкерный кирпич, крупноформатные блоки [4–7].

Однако в России в настоящее время работают лишь несколько кирпичных заводов, использующих кремнистые породы как добавочный компонент шихты, и нет предприятий, производящих продукцию только на основе кремнистых пород. Связано это с несколькими причинами, главной из которых является отсутствие общепринятых методик испытаний кремнистых пород как керамического сырья и отсутствие их технологической классификации, учитывая, что это большая группа пород с разнообразным вещественным составом, структурой и свойствами. Существуют различные схемы классификации кремнистых пород – по химическому, минеральному составу, структуре, генезису и другим признакам, однако классификации, учитывающей состав, структуру, степень литогенеза и керамические технологические свойства, нет. Разработка данной классификации с определением свойств и групп кремнистых пород как сырья для керамической промышленности, а также утверждение методик по исследованиям свойств кремнистых пород являются одной из перспективных задач по расширению сырьевой базы для отрасли керамических материалов.

Кремнистые опал-кристаллитовые породы – это большая группа пород, в которую входят диатомиты, радиоляриты, спонголиты, трепела и опоки. Радиоляриты и спонголиты имеют малую распространенность, а среди диатомитов, трепелов и опок последние по распространенности занимают лидирующее положение [1, 3].

Согласно Методическим рекомендациям по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых, а также трудам ведущих литологов, диатомит – это мягкая легкая тонкопористая порода белого или светло- и желтовато-серого, иногда серого и темно-

серого цвета, состоящая более чем на 50% из мельчайших (обычно 0,01–0,04 мм) опаловых панцирей (цельных или обломков) диатомей. В качестве примесей присутствуют: обломочный материал (обычно кварц), глауконит, глинистые минералы. Объемная масса диатомитов в куске обычно не превышает единицы и у лучших разновидностей составляет 0,5–0,7 т/м³, пористость достигает 70–75%. Трепел – это рыхлая или слабосцементированная тонкопористая порода, сложенная в основной своей массе мельчайшими (менее 0,01 мм) глобулярными частицами опал-кристаллитового кремнезема. По внешнему виду напоминает диатомиты – окраска от светло-серой, почти белой, до желто- и буровато-серой; объемная масса трепела в зависимости от содержания обломочного материала колеблется от 0,5 до 1,25 т/м³; пористость составляет 60–70%. Наблюдаются разности с существенным (до 15–20% и более) содержанием цеолита из группы гейландита-клиноптилолита. Опока – это легкая плотная микропористая порода, сложенная в основном мельчайшими (менее 0,005 мм) частицами опал-кристаллитового кремнезема. В различном количестве присутствует обломочный, преимущественно кварцевый, и глинистый материал. Органические остатки, панцири диатомей, раковины радиолярий, спикулы губок, редки и плохой сохранности. Цвет от светло-серого, буровато-серого до темно-серого. Объемная масса составляет 1,1–1,8 т/м³, пористость до 55% (обычно 30–40%). Прочность «нормальных» разновидностей от 5 до 20, выветрелых (трепеловидных) – от 3 до 7, крепких кремнеподобных – до 150 МПа; в некоторых разновидностях (обычно слабокарбонатных) присутствует цеолитовый компонент (до 10–20%).

Что касается, кремнистых опал-кристаллитовых пород как сырья для производства стеновой керамики и других видов строительной керамики, принципиальным отличием между указанными видами пород является то, что диатомиты и трепела являются размокаемыми в воде породами, а опоки неразмокаемыми или трудноразмокаемыми [11–13]. Этим обстоятельством можно объяснить то, что диатомиты и трепела сейчас и ранее рассматривались как сырье для производства изделий стеновой керамики, а опоки нет. Еще в 1932 г. был введен ОСТ 4728 на кирпич легковесный сплошной. Согласно данному документу легковесный сплошной строительный кирпич представлял собой искусственный сплошной камень установленных форм и размеров, изготовленный путем формовки и обжига из смесей глины с разновидностями трепела и других диатомовых земель или только из разновидностей диатомовых земель. Выпускался кирпич со средней плотностью от 600 до 1200 кг/м³. Качество кирпича по отдельным признакам должно было соответствовать показателям, в табл. 1.

Также существовал отдельный ГОСТ 648–73 «Кирпич и камни строительные из трепелов и диатомитов». В ГОСТ 530 1980, 1995, 2007 и 2012 гг.

Таблица 1
Table 1

Требования к кирпичу легковесному сплошному согласно ОСТ 4728
Requirements for lightweight solid brick according to OST 4728

Наименование качества или недостатка	Марка 1	Марка 2	Марка 3	Марка 4
Средний вес кирпича, не более	2,4 кг	2 кг	1,5 кг	1,2 кг
Среднее временное сопротивление сжатию (кгс/см ²), не менее	A100	A60	A60	A40
	B70	B60	B50	B30
	B50	B40	B35	B23
	Г35	Г30	Г22	Г15
Морозостойкость	В зависимости от условий работы			

«Кирпич и камни керамические. Технические условия» прямо указывается, что в качестве сырьевых материалов для производства кирпича могут использоваться кремнеземистые осадочные породы – трепел и диатомит. При этом, в силу того, что традиционным для производства изделий стеновой керамики является пластический способ формования изделий, опоки, являясь камневидным сырьем, не рассматривались в качестве сырья.

Для классификации и внедрения опок как керамического сырья и у технологов, и у геологов нами на основе ранее проведенных исследований предложено соотнести керамические технологические свойства опок со степенью их литификации, химико-минералогическим составом, структурными особенностями и физико-механическими свойствами. В этом аспекте, учитывая разнообразие состава и свойств опок, правильнее говорить об опоковидных породах. Ранее нами была предложена классификация опоковидных пород по минералого-петрографическому составу в качестве сырья для стеновой керамики [14]. Однако данная классификация не была привязана к дообжиговым керамическим свойствам, что не давало возможности оценки пород в данном аспекте и расширения их использования (табл. 2).

Химический состав опоковидных пород достаточно разнообразен и принципиально не отличается от

Таблица 2
Table 2

Классификация опоковидных пород по минералого-петрографическому составу как сырья для стеновой керамики
Classification of opoka-like rocks according to mineralogical and petrographic composition as a raw material for wall ceramics

Вид опоковидной породы	Содержание компонентов, %		
	SiO ₂ общ	Глинистые минералы	Карбонатный компонент
Опока малоглинистая	75–90	10–20	до 5
Опока среднеглинистая	60–80	20–35	до 5
Опока глинистая (глина кремнистая)	45–65	35–50	до 5
Опока малоглинистая карбонатная	60–85	10–20	5–20
Опока карбонатная среднеглинистая	45–75	20–35	5–20
Опока карбонатная глинистая (глина карбонатно-кремнистая)	30–60	35–50	5–20
Опока малоглинистая высококарбонатная	45–70	10–20	20–35
Опока среднеглинистая высококарбонатная	30–60	20–35	20–35
Смешанная опоковидно-высококарбонатно-глинистая порода	15–45	35–50	20–35

Таблица 3
Table 3

Усредненный химический состав опоковидных и глинистых пород, мас. %
Average chemical composition of opoka-like and clay rocks, % by weight

Породы	ППП	SiO ₂ общ,опал	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃ общ	K ₂ O	Na ₂ O
Опоковидные породы	2–22	51–88; 20–70	4–15	1–6	0,5–25	0,1–5	0,1–2	0,5–3	0,1–1,5
Глины, суглинки, супеси	4–18	50–79	5–26	1–9	1–24	0,1–3	0,1–2	1–4	0,5–3,5

Таблица 4
Table 4

Литолого-технологические типы опал-кристобалитовых опоковидных пород
Lithological and technological types of opal-cristobalite opoka-like rocks

Литолого-технологический тип пород	Минеральный состав	Химический состав	Размокаемость, группа по пластичности	Рекомендуемый способ подготовки сырьевой массы и формования изделий
I. Опоковидные глины	Кремнезем опаловый глобулярный – 20–50%; глинистые минералы – 50–80%	Содержание SiO ₂ – 55–65% Содержание Al ₂ O ₃ – 14–20%	Медленно размокают в воде. Умеренно-и среднепластичные	Подготовка – пластический способ. Формование – экструзия, мокрый
II. Опоки глинистые	Кремнезем опаловый глобулярный – 40–60%; глинистые минералы – 30–50%	Содержание SiO ₂ – 60–70% Содержание Al ₂ O ₃ – 8–14%	Трудноразмокаемые, размокают при измельчении в воде. Умеренно-пластичные при измельчении	Подготовка – пластический способ с предварительным разрыхлением. Формование – обычная и жесткая экструзия, мягкое формование
III. Опоки классические	Кремнезем опаловый глобулярный – 50–80%; глинистые минералы – 10–30%	Содержание SiO ₂ – 70–85% Содержание Al ₂ O ₃ – 4–8%	Не размокают в воде. Мало-, умеренно-пластичные при измельчении	Подготовка – сухой. Формование – компрессионный. При вводе пластичных добавок – обычная и жесткая экструзия, мягкое формование
IV. Опоки окремненные	Кремнезем опаловый глобулярный – 80–90%; глинистые минералы – 5–15%	Содержание SiO ₂ – 85–90% Содержание Al ₂ O ₃ – 2–5%	Не размокают в воде. Мало-пластичные, непластичные	Подготовка – сухой. Формование – компрессионный. При вводе пластичных добавок – жесткая экструзия



Рис. 1. Уступ карьера классических опоковидных пород. Кусочки породы не разрушаются несколько лет при многократных циклах замораживания и оттаивания

Fig. 1. The ledge is a career of classic gaize. Pieces of rock do not break down for several years with multiple cycles of freezing and thawing



Рис. 2. Добыча стенового камня на месторождении карбонатных опоковидных пород в Ростовской области

Fig. 2. Extraction of wall stone at the carbonate gaize deposit in the Rostov region



Рис. 3. Разрушенная церковь иконы Божией Матери «Одигитрия» в Ростовской области, сложенная блоками из карбонатных опоковидных пород, находящаяся без крыши более 60 лет

Fig. 3. The destroyed church of the Icon of the Mother of God «Odigitria» in the Rostov region, built with blocks of carbonate gaize, which has been without a roof for more than 60 years

химического состава глинистого сырья — глин, суглингов, супесей (табл. 3). Отличием является то, что в глинистых породах кремнезем, не входящий в состав глинистых минералов, в основном представлен кварцем, а в опоковидных породах — опал-кристобалитовым кремнеземом. Также в глинах, преимущественно каолинистового состава, которые достаточно редки, содержание глинозема больше 25%. Оксид алюминия является показателем «глинистости» опоковидных пород: чем больше содержание Al_2O_3 , тем больше глинистых минералов содержится в составе опоковидных пород. Соответственно от содержания глинистых минералов изменяются и технологические свойства опал-кристобалитовых опоковидных пород (ОКОП). В основном в силу генезиса для ОКОП характерны гидрослюды, для кремнистых глин характерны минералы группы монтмориллонита и гидрослюды [1, 15].

Оксид кальция характеризует содержание кальция, который в ОКОП находится в виде зерен с размером менее 0,1 мм. Следует отметить, что в природе гораздо более широко распространены переходные разновидности опоковидных пород — глинистые, карбонатные и глинисто-карбонатные.

Авторами на основе многочисленных экспериментальных исследований, данных и анализа литологии составлена схема взаимосвязи между дообжиговыми технологическими свойствами ОКОП, степенью их литификации, химико-минералогическим составом, структурными особенностями и физико-механическими свойствами. Данная схема позволяет прогнозировать дообжиговые свойства ОКОП, способ формования изделий и подготовку сырьевых смесей, а спекаемость можно ориентировочно устанавливать по химико-минералогическому составу. По степени литификации, которая соотносится с вещественным составом и физико-механическими свойствами, авторами выделено четыре литолого-технологических типа опал-кристобалитовых опоковидных пород как сырья для производства изделий стеновой керамики (табл. 4). Однако при характеристике ОКОП по химико-минералогическому составу надо иметь в виду, что в них всегда содержатся в том или ином количестве терригенные минералы — кварц, полевые шпаты, слюды и т. д. — и часто карбонатный компонент, который представлен тонкодисперсными рассеянными зернами известняка. По содержанию карбонатного компонента опоковидные породы могут быть разделены на три группы:

- некарбонатные (малокарбонатные) — содержание $CaCO_3$ до 5%;
- карбонатные — содержание $CaCO_3$ до 5–20%;
- высококарбонатные — содержание $CaCO_3$ до 20–40%.

Также следует отметить, что при оценке ОКОП необходимо учитывать вид глинистых минералов, которые в своем составе содержат различное количество SiO_2 и в зависимости от вида минерала могут оказывать различное влияние на показатели связности, пластичности, воздушной усадки, формовочной влажности.

Следует отметить, что формовочные массы на основе ОКОП (пластичные массы или пресс-порошки) отличаются в силу микропористости повышенной формовочной влажностью: пластичные массы

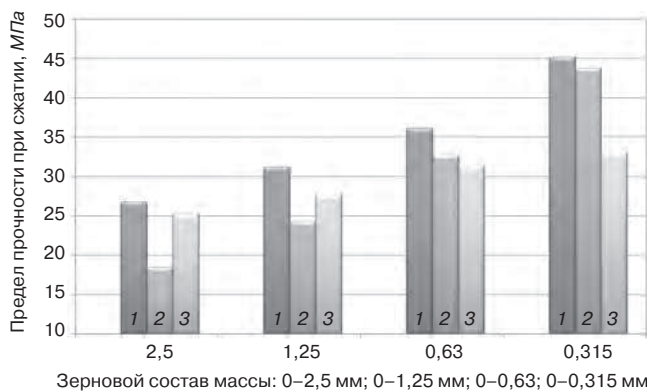


Рис. 4. Зависимость предела прочности при сжатии обожженных образцов от степени измельчения опок: 1 – опока глинистая; 2 – опока классическая; 3 – опокovidная глина

Fig. 4. The dependence of the compressive strength of fired samples from the degree of grinding of gaize: 1 – clay gaize; 2 – gaize classical; 3 – opoka clay

до 35–40%, пресс-порошки до 25–30%. Также надо иметь в виду, что при определении и сопоставлении результатов по пластичности необходимо учитывать метод определения пластичности (определение с помощью прибора конструкции Васильева, балансирного конуса Васильева, по методу Пфедеркорна), так как данные могут существенно отличаться.

В общем плане переходные глинистые, карбонатные и глинисто-карбонатные разновидности опокovidных пород имеют в природе гораздо более широкое распространение, чем опоки классические и окремненные. Это закономерно, учитывая генезис осадочных пород, однако геологи на них практически не обращают внимания и дают таким смешанным видам пород неопределенные названия – «мурские породы», «микстолиты», «патумы», «хлидолиты» и др., что вообще затрудняет их идентификацию и хоть какую-либо технологическую характеристику как сырья для производства изделий стеновой керамики. Некоторые виды опок, несмотря на высокую пористость, являются достаточно морозостойкими и используются как стеновой камень (рис. 1, 2). Связано это с тем, что в них глинистые минералы равномерно распределены в общей опаловой массе и прочно с ней связаны (рис. 3). Однако часто бывает, что высокопрочные окремненные опоки не являются морозостойкими, так как глинистые минералы, содержащиеся даже в небольшом количестве, распределены очень тонкими слоями, по которым и происходит разрушение.

Общей особенностью ОКОП, как и другого камневидного сырья, является значительная зависимость их керамических технологических свойств от механической активации. Эта зависимость в большей мере наблюдается с увеличением степени литификации породы: опокovidные глины → опоки глинистые → опоки классические → опоки окремненные. На рис. 4 и 5 показаны графики, отражающие зависимость прочности обожженных образцов на основе различных литолого-технологических типов опок Юга России от степени их измельчения, характери-

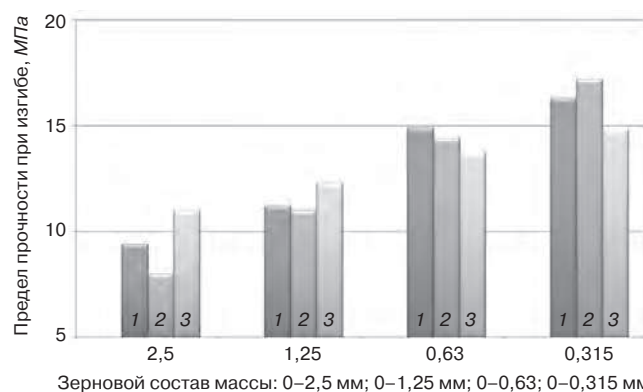


Рис. 5. Зависимость предела прочности при изгибе обожженных образцов от степени измельчения опок: 1 – опока глинистая; 2 – опока классическая; 3 – опокovidная глина

Fig. 5. The dependence of the uniaxial tensile strength of fired samples from the degree of grinding of gaize: 1 – clay gaize; 2 – gaize classical; 3 – opoka clay

зуемой зерновыми составами: 0–2,5; 0–1,25; 0–0,63; 0–0,315 мм. Как видно, при одинаковой температуре обжига прочность образцов при сжатии на основе опокovidных глин (950°C) изменяется в 1,3 раза при изменении зернового состава сырьевой смеси с 0–2,5 до 0–0,63 мм; прочность образцов на основе глинистых опок (950°C) изменяется в 1,7 раза; прочность образцов на основе опок классических (950°C) изменяется в 2,4 раза. Аналогичные зависимости наблюдаются и для предела прочности при изгибе.

Проведенные исследования показали, что опал-кристоалитовые опокovidные породы: опокovidные глины и различные виды опок с их промежуточными разновидностями – являются перспективным сырьем для производства различных видов стеновой керамики. Наличие опал-кристоалитового кремнезема и тонкопористая камневидная структура обуславливают необходимость разработки специализированных методик их испытаний и технологических схем производства изделий стеновой керамики. Для опокovidных глин подходит пластический способ подготовки сырьевых масс и экструзионный способ формования изделий, для опок классических и окремненных – сухой способ подготовки сырьевых масс и компрессионный способ формования изделий с вводом специальных минерализующих добавок, ускоряющих переход опала в кристоалит при обжиге. Химический и минеральный состав ОКОП позволяют получать стеновые керамические изделия при относительно невысоких температурах обжига с улучшенными физико-техническими показателями. При этом с помощью изменения зернового состава измельченного сырья можно изменять и температуру обжига в достаточно широком интервале, так как для камневидных пород наблюдается четкая зависимость: чем более тонко измельчено сырье, тем более низкая температура требуется для обжига. Ресурсы опал-кристоалитовых опокovidных пород в России позволяют организовать широкое производство изделий стеновой керамики с пониженной плотностью и теплопроводностью.

Список литературы

1. Дистанов У.Г. Кремнистые породы СССР. Казань: Татарское книжное издательство, 1976. 411 с.
2. Котляр В.Д., Талпа Б.В., Козлов Г.А., Белодедов А.А. Кремнистые породы Нижнего Дона и перспективные пути их использования в производстве строительных материалов // *Научная мысль Кавказа*. 2004. № 6. С. 97–104.
3. Дистанов У.Г. Минеральное сырье. Опал-кristобалитовые породы: Справочник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. 27 с.
4. Котляр В.Д., Братский Д.И. Особенности глинистых опок как сырья для стеновой керамики // *Вестник МГСУ*. 2009. № 4. С. 142–147.
5. Климцов Е.Я., Климцова Н.Н. Отработка параметров производства кирпича из масс пониженной влажности на основе диатомита // *Сборник трудов ВНИИСТРОМ*. 1979. № 41 (69). С. 52–60.
6. Талпа Б.В., Котляр В.Д., Терехина Ю.В. Оценка кремнистых опоквидных пород для производства керамического кирпича // *Строительные материалы*. 2010. № 12. С. 20–22.
7. Бондарюк А.Г., Котляр В.Д. Стеновая керамика на основе опоквидных кремнисто-карбонатных пород и искусственных кремнисто-карбонатных композиций // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2010. № 7 (619). С. 18–24.
8. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Кремниевые породы. М.: МПР, 2007. 36 с.
9. Кузнецов В.Г. Литология. Осадочные горные породы и их изучение. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. 511 с.
10. Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород. М.: Высшая школа, 1984. 450 с.
11. Котляр В.Д. Критерии оценки опоквидных пород и особенности технологии при производстве стеновой керамики // *Материалы XV академических чтений РААСН – международной научно-технической конференции «Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии»*. Казань, 2010. С. 399–403.
12. Котляр В.Д., Терехина Ю.В., Котляр А.В. Кремнистые опоквидные породы – перспективная сырьевая база керамической отрасли. Ростов н/Д: РИЦ РГСУ, 2013. 154 с.
13. Котляр В.Д., Лапунова К.А. Технологические особенности опок как сырья для стеновой керамики // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2009. № 11–12 (611–612). С. 25–31.
14. Котляр В.Д. Классификация кремнистых опоквидных пород как сырья для производства стеновой керамики // *Строительные материалы*. 2009. № 3. С. 36–39.
15. Talpa B., Kotlyar V. Siliceous clay is perspective raw materials for effective wall ceramic wall. *Book of Abstracts 2nd International Conference «Clay, Clay Minerals and Layered Materials»*. Saint-Petersburg. 2013. 107 p.

References

1. Distanov U.G. Kremnistye porody SSSR [Siliceous rocks of the USSR]. Kazan: Tatarian book publisher. 1976. 411 p.
2. Kotlyar V.D., Talpa B.V., Kozlov G.A., Belodedov A.A. Siliceous rocks of the Lower Don and promising ways of their use in the production of building materials. *Nauchnaya mysl' Kavkaza*. 2004. No. 6, pp. 97–104. (In Russian).
3. Distanov U.G. Mineral'noe syr'e. Opal-kristobalitovye porody [Mineral raw materials. Opal-cristobalite rocks] Guide. Moscow: ZAO «Geoinformmark». 1998. 27 p.
4. Kotlyar V.D., Bratskiy D.I. Features of clay gaize as raw materials for wall ceramics. *Vestnik MSTU*. 2009. No. 4, pp. 142–147. (In Russian).
5. Klimcov E.Ya., Klimcova N.N. Working out the parameters of the production of bricks from masses of low humidity based on diatomite. *Sbornik trudov VNIISTROM*. 1979. No. 41 (69), pp. 52–60. (In Russian).
6. Talpa B.V., Kotlyar V.D., Terekhina Yu.V. Evaluation of siliceous opokoid rocks for the production of ceramic bricks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2010. No. 12, pp. 20–22. (In Russian).
7. Bondaryuk A.G., Kotlyar V.D. Wall ceramics based on opocoid siliceous-carbonate rocks and artificial siliceous-carbonate compositions. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*. 2010. No. 7 (619), pp. 18–24. (In Russian).
8. Methodological recommendations on the application of the Classification of reserves of deposits and forecast resources of solid minerals. Silicon rocks. Moscow: MPR. 2007. 36 p. (In Russian).
9. Kuznecov V.G. Litologiya. Osadochnye gornye porody i ih izuchenie [Lithology. Sedimentary rocks and their study]. Moscow: LLC “Nedra-Businesscenter”. 2007. 511 p.
10. Logvinenko N.V. Petrografiya osadochnyh porod [Petrography of sedimentary rocks]. Moscow: Vysshaya shkola. 1984. 450 p.
11. Kotlyar V.D. Evaluation criteria for opokoid rocks and technology features in the production of wall ceramics. *Materials of the XV academic readings of the RAASN – international scientific and Technical conference “Achievements and problems of Materials science and modernization of the construction industry”*. Kazan: KazGASU. 2010, pp. 399–403. (In Russian).
12. Kotlyar V.D., Terekhina Yu.V., Kotlyar A.V. Kremnistye opokovidnye porody – perspektivnaya syr'evaya baza keramicheskoy otrasli [Siliceous opocoid rocks are a promising raw material base of the ceramic industry]. *Rostov-na-Donu: RIC RGSU*. 2013. 154 p.
13. Kotlyar V.D., Lapunova K.A. Technological features of flasks as raw materials for wall ceramics. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*. 2009. No. 11–12 (611–612), pp. 25–31. (In Russian).
14. Kotlyar V.D. Classification of siliceous opokoid rocks as raw materials for the production of wall ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 3, pp. 36–39. (In Russian).
15. Talpa B., Kotlyar V. Siliceous clay is perspective raw materials for effective wall ceramic wall. *Book of Abstracts 2nd International Conference «Clay, Clay Minerals and Layered Materials»*. Saint-Petersburg. 2013. 107 p. (In Russian).

УДК 666.3:552.52

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-31-37>

А.В. КОТЛЯР, канд техн. наук (toss871@gmail.com)

Донской государственный технический университет (344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)

Характеристика камнеподобных глинистых пород как сырья для производства строительной керамики

Приведены общие сведения о состоянии сырьевой базы для отрасли строительной керамики России. Указаны основные причины, по которым состояние сырьевой базы нельзя назвать удовлетворительным. Отмечается, что Россия располагает огромными запасами камнеподобного глинистого сырья (КГП) – аргиллитоподобных глин, аргиллитов, сланцеватых аргиллитов и глинистых сланцев, которые имеют широкое распространение во многих регионах России и которые практически не используются для производства строительной керамики. Приведена схема-характеристика КГП по степени литификации, минеральному составу, структурно-текстурным особенностям и их физическим свойствам, оказывающим существенное влияние на керамические технологические свойства – как дообжиговые, так и обжиговые. Так, образование аргиллитоподобных глин происходило на стадии раннего катагенеза при глубине погружения исходных глинистых пород на 1–1,5 км, температуре до 70°C и литостатическом давлении до 50 МПа. Образование аргиллитов происходило на стадии среднего–позднего катагенеза при глубине погружения исходных глинистых пород на 2–4 км, температуре до 200°C и литостатических давлениях до 100–120 МПа. Формирование глинистых сланцев происходило на стадии позднего катагенеза и метакатагенеза, на глубинах 4–6 км и более, давлении до 200 МПа и температуре до 200–300°C. Представленная схема позволяет предполагать дообжиговые и обжиговые керамические свойства КГП, способ подготовки сырьевых масс, способ формования изделий, необходимость ввода тех или иных добавочных материалов в зависимости от предполагаемого вида изделий и технологии производства.

Ключевые слова: камнеподобные глинистые породы, аргиллитоподобные глины, аргиллиты, глинистые сланцы, керамические изделия.

Для цитирования: Котляр А.В. Характеристика камнеподобных глинистых пород как сырья для производства строительной керамики // *Строительные материалы*. 2022. № 4. С. 31–37. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-31-37>

A.V. KOTLYAR, Candidate of Sciences (Engineering) (toss871@gmail.com)

Don State Technical University (1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation)

Characteristics of Stone-Like Clay Rocks as Raw Materials for the Production of Building Ceramics

General information about the state of the raw material base for the construction ceramics industry in Russia is given. The main reasons, as a result of which the state of the raw material base cannot be called satisfactory, are indicated. It is noted that Russia has huge reserves of stone-like clay raw materials (KGP) – argillite-like clays, argillites, shale argillites and clay shales, which are widespread in many regions of Russia and which are practically not used for the production of construction ceramics. The scheme-characteristic of the KGP according to the degree of lithification, mineral composition, structural and textural features and their physical properties, which have a significant impact on the ceramic technological properties – both pre-firing and firing, is presented. Thus, the formation of argillite-like clays occurred at the stage of early catagenesis at a depth of immersion of the initial clay rocks at 1–1.5 km, temperature up to 70°C and lithostatic pressure up to 50 MPa. The formation of argillites occurred at the stage of middle-late catagenesis at a depth of immersion of the initial clay rocks at 2–4 km, temperature up to 200°C and lithostatic pressures up to 100–120 MPa. The formation of clay shales occurred at the stage of late catagenesis and metagenesis, at depths of 4–6 km and more, pressure up to 200 MPa and temperature up to 200–300°C. The scheme presented makes it possible to assume the pre-firing and firing ceramic properties of the KGP, the method of preparing raw materials, the method of molding products, the need to input certain additional materials, depending on the intended type of products and production technology.

Keywords: stone-like clay rocks, argillite-like clays, argillites, clay shales, ceramic products.

For citation: Kotlyar A.V. Characteristics of stone-like clay rocks as raw materials for the production of building ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 4, pp. 31–37. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-31-37>

В настоящее время в России все больше обостряется проблема нехватки глинистого сырья для производства различных видов строительной керамики. Для изготовления рядового и лицевого кирпича, крупноформатных керамических блоков традиционным сырьем являются различные разновидности суглинков и глин. Несмотря на их широкое распространение, месторождений качественного сырья очень мало и, кроме того, проблемой является выделение земель под месторождения и перевод их с сельскохозяйственного в промышленное назначение.

Это связано с тем, что в связи с интенсивным развитием сельского хозяйства в настоящее время стоимость сельскохозяйственных земель возросла в разы и они стали ценным долгосрочным капиталом, а именно суглинки и глины являются почвообразующими породами, на которых сформированы наиболее ценные почвы [1].

Если говорить о клинкерном кирпиче, плитке, сайдинге и других изделиях, имеющих высокую степень спекания, традиционным сырьем для их производства являются тугоплавкие спекающиеся глины,

которые в силу геологической истории очень мало распространены на территории России; обычно это месторождения с малыми запасами и сложными горнотехническими условиями — малой мощностью полезного ископаемого, большой вскрышей, повышенной обводненностью.

Россия располагает огромными запасами камнеподобного глинистого сырья, это аргиллитоподобные глины, аргиллиты, сланцеватые аргиллиты и глинистые сланцы, которые имеют широкое распространение во многих регионах и практически не используются для производства строительной керамики, хотя за рубежом данный вид сырья, обычно называемый сланцеватой глиной, сланцами (slate clay, shale), достаточно широко используется и рассматривается как основной вид сырья для стеновой керамики и дорожного кирпича [2]. Сложившаяся ситуация с сырьевой базой для производства строительной керамики в России обусловлена несколькими взаимосвязанными причинами.

Во-первых, начиная с середины 50-х гг. XX в. благодаря известному постановлению ЦК КПСС и Совета Министров СССР № 1871 от 4 ноября 1955 г. «Об устранении излишеств в проектировании и строительстве», которое утвердило однообразную и повсеместную безликость в архитектуре и строительстве, развитие строительной керамики и соответственно сырьевой базы было существенно свернуто. В результате камнеподобные глинистые породы (КГП), которые раньше называли общим термином «сланцевые глины», практически не изучались как сырье для производства различных изделий строительной керамики.

Во-вторых, исторически сложилось, что до 1991 г. европейская часть России не испытывала дефицита в огнеупорном, тугоплавком и легкоплавком спекающемся глинистом сырье. Хорошо были налажены поставки из Украины, богатой этим видом сырья, а стоимость перевозок была относительно небольшой. Поэтому не было острой необходимости в расширении сырьевой базы, поиска новых сырьевых источников и разработки под них новых технологических решений [3, 4].

В-третьих, ассортимент выпускаемых керамических изделий в России до конца XX в. отличался удивительным однообразием. Стране нужен был кирпич в основном как дешевый стеновой материал, не отличающийся качеством, без красоты, разнообразия по свойствам, с весьма ограниченной номенклатурой изделий, который и так был в дефиците. Не выпускался стеновой и дорожный клинкерный кирпич, клинкерная плитка, сайдинг, черепица. Поэтому широко распространенные суглинки как сырьевая база в общем устраивали кирпичную промышленность, основой которой было множество маленьких кирпичных заводов низкой степени автоматизации.

В настоящее время ситуация по многим аспектам производства строительной керамики прин-

ципально изменилась. Появилась острая потребность в расширении сырьевой базы, и некоторые исследователи обратили внимание на КГП как перспективное сырье для производства различных видов строительной керамики и соответственно появились научно-прикладные работы в этом направлении [5–8]. Однако проблемой при изучении КГП, учитывая, что это большая группа пород, отличающаяся широким химико-минералогическим составом и свойствами, является отсутствие какой-либо их классификации с привязкой к керамическим технологическим свойствам и характеристикой как сырья для производства строительной керамики. Существующие различные схемы классификации глинистых пород — по химическому, минеральному составу, генезису, дообжиговым и обжиговым, керамическим свойствам (пластичность, связность, спекание и др.) в некоторой степени могут быть соотнесены с технологическими свойствами КГП. Однако имеется множество вопросов начиная с терминологии, методов испытаний КГП для тех или иных видов изделий, технологических рекомендаций по подготовке сырьевых смесей и формования изделий, которые являются открытыми.

Так, согласно методическим рекомендациям по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых для глинистых пород, в зависимости от степени литификации выделяют:

— «глины — несцементированные связные пластичные осадочные породы, обладающие свойством образовывать с водой вязкую массу, способную формироваться и сохранять приданную ей форму. Обожженная в огне приобретает каменную твердость и крепость;

— аргиллиты — камнеподобные породы, не размокающие в воде, образующиеся в результате уплотнения и эпигенеза глин. По минеральному составу аргиллиты практически не отличаются от глин;

— глинистые сланцы — метаморфические плотные сланцеватые породы, состоящие из гидрослюд, хлорита, иногда каолинита, реликтов других глинистых минералов, кварца, полевого шпата и других неглинистых минералов» [9].

В данной классификации не упоминаются аргиллитоподобные глины, которые четко классифицируются в инженерной и нефтяной геологии и которые обладают своими особыми керамическими технологическими свойствами [10–12].

По генезису и степени литификации в литологии выделяют следующие типы глинистых пород:

— глины — пластичные, размокающие в воде дисперсные породы;

— аргиллиты — внешне часто похожие на глины, но более плотные камнеподобные породы с неправильным землистым или раковистым изломом, в естественном состоянии не размокают в воде. Текстура у них может быть как однородная, так и слоистая;

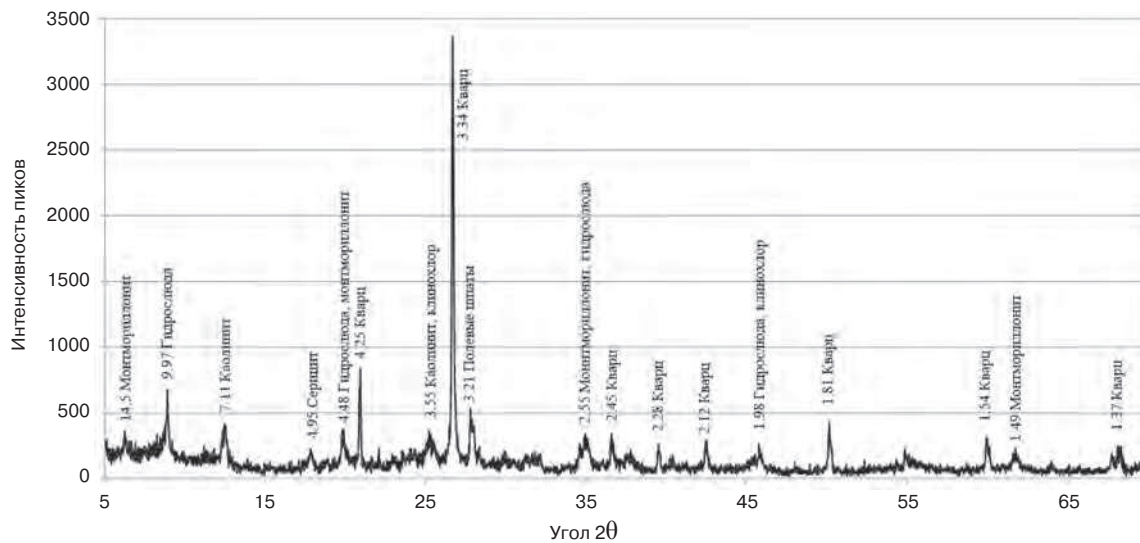


Рис. 1. Рентгенограмма аргиллитоподобной глины
Fig. 1. X-ray of argillite-like clay

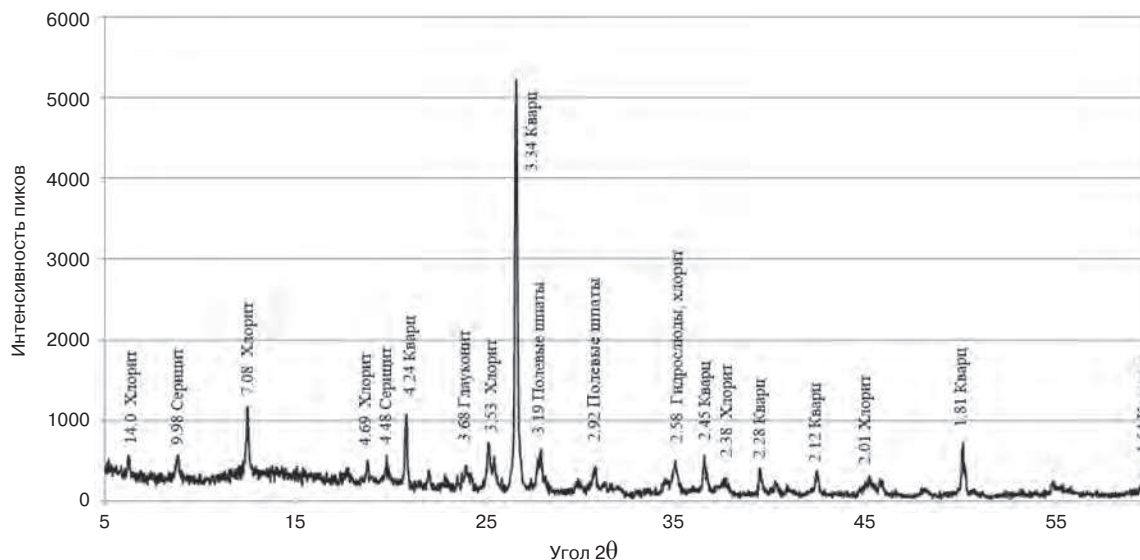


Рис. 2. Рентгенограмма глинистого сланца
Fig. 2. X-ray of clay slates

– глинистые сланцы – твердые породы, имеющие выраженную сланцеватую или плитчатую текстуру, не размокающие в воде [13–15].

Все перечисленные породы имеют свои технологические особенности, обусловленные условиями образования и соответственно минеральным составом и структурными особенностями. Так, образование аргиллитоподобных глин происходило на стадии раннего катагенеза при глубинах погружения исходных глинистых пород на 1–1,5 км, температуре до 70°C и литостатическом давлении до 50 МПа. Образование аргиллитов происходило на стадии среднего–позднего катагенеза при глубинах погружения исходных глинистых пород на 2–4 км, температуре до 200°C и литостатических давлениях до 100–120 МПа. Формирование глинистых сланцев происходило на стадии позднего катагенеза и мета-

генеза, на глубине 4–6 км и больше, давлении до 200 МПа и температуре до 200–300°C. Существенные отличия по условиям образования отражаются на физических свойствах. Так, пористость аргиллитоподобных глин составляет в среднем 15–25%, аргиллитов – 5–15%, а глинистых сланцев меньше 5%. Соответственно возрастает и средняя плотность породы, которая у глинистых сланцев достигает 2,7 г/см³. Существенно изменяется и минеральный состав, а химический не претерпевает принципиальных изменений, и по нему нельзя отличить аргиллитоподобные глины и глинистые сланцы. Глинистые минералы аргиллитоподобных глин могут быть представлены группой минералов монтмориллонита, каолинита, гидрослюдами структурных политипов 1М и 1Мd, смешанослойными минералами. Для глинистых сланцев характерны хлориты, серпигит и

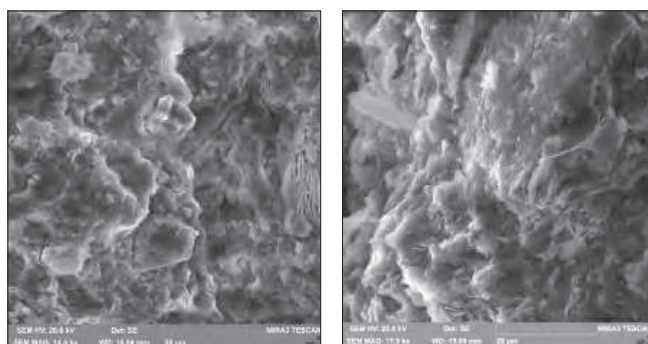


Рис. 3. Микроструктура аргиллитоподобной глины под электронным микроскопом
Fig. 3. Microstructure of argillite-like clay under electron microscope

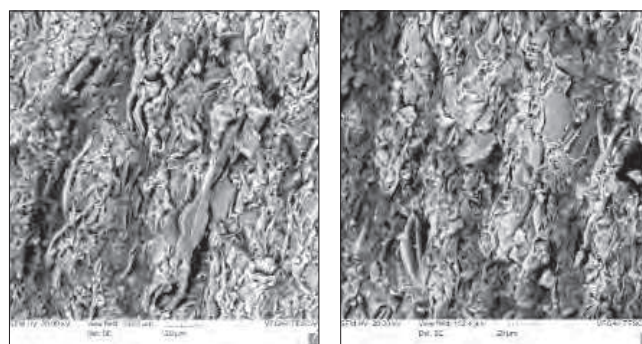


Рис. 4. Микроструктура глинистого сланца под электронным микроскопом
Fig. 4. Microstructure of clay slates under electron microscope

Таблица 1
Table 1

Усредненный химический состав камнеподобных глинистых пород, мас. %
Average chemical composition of stone-like clay rocks, wt. %

ППП	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	Corg.
3–14	49–68	15–28	3–7	0,5–12	1–3	2,5–4,5	1–2	0,5–1,5	0,1–0,3	0,2–1,1	1–3

гидрослюды структурного политипа 2М [14–16]. На рис. 1 и 2 для примера показаны рентгенограммы аргиллитоподобной глины и глинистого сланца месторождений Юга России. Условия образования и минеральный состав отражаются и на структурных особенностях камневидных глинистых пород, что хорошо видно, как визуально, так и под электронным микроскопом (рис. 3, 4).

Следует отметить, что по химическому составу камнеподобные глинистые породы не имеют принципиальных отличий [13, 14, 17]. Их усредненный химический состав может быть охарактеризован следующим содержанием основных оксидов (табл. 1). Похожий минеральный состав имеют кислые и средние магматические породы, различные виды песчаников и другие породы. Поэтому при изучении КГП химический состав должен быть дополнением к минеральному составу.

Для КГП увеличение содержания кремнезема говорит об увеличении содержания кварца и перехода к алевролитам и запесоченным разновидностям КГП. Увеличение содержания глинозема говорит об увеличении содержания глинистых минералов, и в большей мере минералов группы каолинита. Оксид кальция характеризует присутствие карбонатов, которые в КГП обычно присутствуют в тонкодисперсном состоянии. Оксид калия говорит о количественном содержании слюд, гидрослюд и в некоторой степени о содержании калиевых полевых шпатов. Оксид серы характеризует присутствие сульфатов кальция и сульфидов железа. Органический углерод говорит о наличии углистого вещества, при повышенном содержании которого КГП называют углестыми.

Степень литификации камневидных глинистых пород, минеральный состав, структурно-текстурные

особенности и их физические свойства оказывают существенное влияние на керамические технологические свойства, как дообжиговые, так и обжиговые. Что касается дообжиговых свойств, от степени литификации КГП зависят такие взаимосвязанные свойства, как размокаемость, водоразмываемость, водопроницаемость, пластичность, воздушная усадка, чувствительность к сушке. К этому перечню можно добавить и такое свойство, как липкость – способность влажной глины прилипать к различным материалам при соприкосновении, которое не входит в перечень испытаний глинистого сырья для производства грубой строительной керамики, но по которому можно косвенно судить о минеральном составе, электрическом заряде глинистых минералов и более осознанно относиться к параметрам формования изделий.

По размокаемости, под которой понимается распад в воде агрегированных глинистых частиц на более мелкие с образованием полидисперсной системы, можно четко отделить аргиллитоподобные глины, которые медленно размокают при нахождении в воде, от аргиллитов и глинистых сланцев, которые не размокают в воде (рис. 5). Если говорить об обычных нелитифицированных глинах, то максимальной размокаемостью отличаются суглинки, содержащие повышенное количество пылеватого материала. Интенсивность размокания имеет большое значение при подготовке формовочных масс.

По пластичности можно разделить аргиллиты и глинистые сланцы. При измельчении аргиллиты проявляют пластические свойства, и чем более тонко они измельчены, тем больше их пластичность. При измельчении до зернового состава менее 0,16–0,08 мм и вылеживании во влажных условиях их пластичность может достигать до 10 единиц. Глинистые сланцы

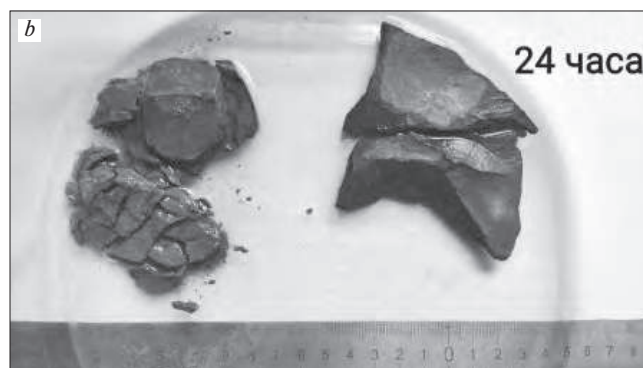


Рис. 5. Кусочки аргиллитоподобной глины и глинистого сланца после 5 мин (а) и 24 ч (б) замачивания в воде
Fig. 5. Pieces of argillite-like clay and clay slates after 5 minutes (a) and 24 hours (b) soaking in water

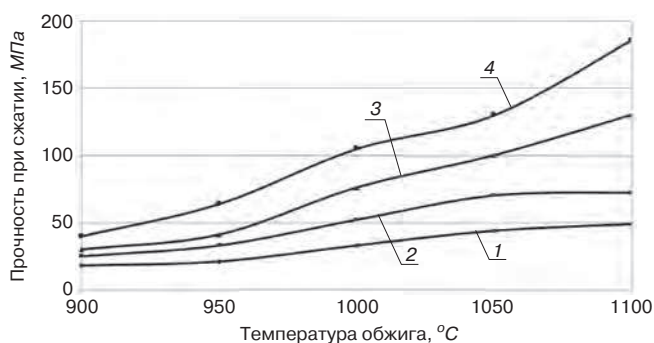


Рис. 6. Зависимость прочности обожженных образцов от степени измельчения аргиллитов и температуры обжига: 1 – 0–1,25 мм; 2 – 0–0,63 мм; 3 – 0–0,315 мм; 4 – 0–0,16 мм

Fig. 6. Dependence of sample strength on temperature and grain composition of argillites: 1 – 0–1.25 mm; 2 – 0–0.63 mm; 3 – 0–0.315 mm; 4 – 0–0.16 mm

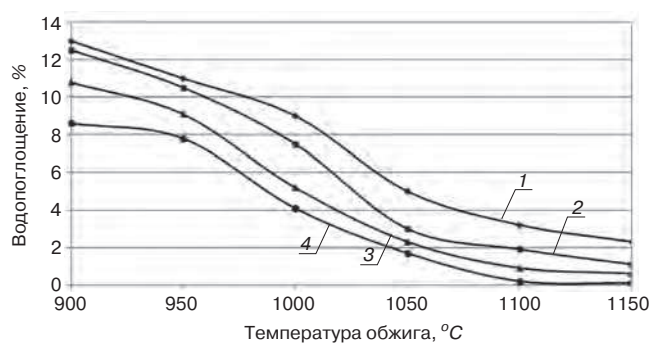


Рис. 7. Зависимость водопоглощения обожженных образцов от степени измельчения аргиллитов и температуры обжига: 1 – 0–1,25 мм; 2 – 0–0,63 мм; 3 – 0–0,315 мм; 4 – 0–0,16 мм

Fig. 7. Dependence of sample strength water absorption on temperature and grain composition of argillites: 1 – 0–1.25 mm; 2 – 0–0.63 mm; 3 – 0–0.315 mm; 4 – 0–0.16 mm

даже при тонком измельчении практически не дают пластичного теста.

Особенностью КГП в отличие от обычных размокаемых глин является весьма существенная зависимость их технологических керамических свойств от степени измельчения. Такая зависимость в большей степени проявляется с увеличением степени литификации породы: аргиллитоподобная глина → аргиллит → глинистый сланец. На рис. 6 и 7 показаны графики, отражающие зависимость прочности и водопоглощения обожженных образцов на основе аргиллитов от степени их измельчения, характеризуемой зерновыми составами: 0–1,25; 0–0,63; 0–0,315 и 0–0,16 мм одного из месторождений аргиллитов Ростовской области. Как видно, при одинаковой температуре обжига прочность образцов при сжатии изменяется в 2,5–3,5 раза при изменении зернового состава сырьевой смеси с 0–1,25 до 0–0,16 мм. Водопоглощение при температуре обжига 1000°C уменьшается почти в два раза, при температуре обжига 1100°C уменьшается в 16 раз. Также сильное влияние степень измельчения оказывает на воздушную усадку, пластичность, прочность необожженных изделий и другие свойства, от которых зависит подбор технологических параметров производства и выбор способа формования изделий.

На основе многочисленных экспериментальных исследований, анализа литологических данных и

данных инженерной геологии авторами составлена предварительная условная схема взаимосвязи между керамическими технологическими особенностями камневидных глинистых пород, их минеральным составом и структурными особенностями (табл. 2). Данная схема позволяет предполагать дообжиговые и обжиговые керамические свойства КГП, способ подготовки сырьевой массы, способ формования изделий и необходимость ввода тех или иных добавочных материалов в зависимости от предполагаемого вида изделий и технологии производства. Для аргиллитоподобных глин более подходящим является пластический способ подготовки сырьевых смесей и экструзионный способ формования изделий. Однако при этом необходимо иметь в виду, что они должны вылеживаться во влажном состоянии более продолжительное время, чем обычные глины. Для глинистых сланцев, практически не обладающих пластическими свойствами, более подходящим является сухой способ подготовки сырьевых смесей и компрессионный способ формования изделий. Выбор способа формования изделий может быть изменен вводом определенных добавочных материалов в сырьевую смесь.

Проведенные исследования показали, что камневидные глинистые породы – аргиллитоподобные глины, аргиллиты, глинистые сланцы и их промежуточные разновидности – являются перспективным сырьем для производства многих видов строитель-

Таблица 2
Table 2

Взаимосвязь между керамическими технологическими особенностями КГП, их минеральным составом и структурными особенностями
The relationship between ceramic technological features of stone-like clayey rocks, their mineral composition and structural features

Тип породы	Степень гидратированности и физическая природа структурных связей	Преобладающая ассоциация глинистых минералов	Размокаемость, группа по пластичности	Рекомендуемый способ подготовки сырьевой массы и формования изделий
Аргиллитоподобные глины	Высокая– умеренная. Молекулярные, магнитные	Монтмориллонит, каолинит, гидрослюды 1M и 1Md, смешанослойные минералы	Медленно размокающие в воде, умереннопластичные	Подготовка – пластический способ с предварительным разрыхлением. Формование – экструзионный, мокрый
Аргиллиты	Умеренная-малая. Ионные, магнитные, частично атомные, молекулярные	Смешанослойные минералы, гидрослюды, хлориты	Не размокают без механической активации. Мало-, умереннопластичные (число пластичности до 10)	Подготовка – комбинированный: сухой и пластический. Формование – полужесткая экструзия, мокрый, компрессионный
Глинистые сланцы	Очень малая. Атомные, ионные	Хлорит, гидрослюды 2M, слюды	Непластичные	Подготовка – сухой. Формование – компрессионный

ной керамики, в том числе клинкерного кирпича, плитки, черепицы. Особенности минерального состава и структуры обуславливают необходимость разработки специальных методик оценки их керамических технологических свойств, от которых зависит выбор способов подготовки сырьевых масс и формования изделий, а также наиболее подходящий вид изделий.

Химический и минеральный состав камневидных глинистых пород позволяет получать клинкерные изделия при относительно невысокой температуре обжига – 1000–1100°C, с пределом прочности при сжатии до 100–150 МПа и пределом прочности при изгибе 25–50 МПа. При этом температуру обжига в достаточно широком интервале можно корректировать зерновым составом измельченного сырья, так как для данных пород наблюдается четкая зависимость: чем выше их степень измельчения, тем меньшая температура обжига требуется для достижения показателей по прочности и водопоглощению.

Распространенность и ресурсы камневидных глинистых пород в России позволяют организовать широкое производство клинкерных изделий по упрощенной технологии с минимальной себестоимостью выпускаемой продукции, однако на практике это практически не реализуется. Одним из сдерживающих факторов можно назвать отсутствие конкретных методик оценки данного вида сырья, в связи с чем геологи не рассматривают это направление. Для технологов проблемой является отсутствие опробованных технологических решений для этого вида сырья и отсутствие комплектных технологических линий. Для широкого внедрения камневидных глинистых пород в производство изделий строительной керамики нужны совместные усилия и разработки различных специалистов – технологов-керамистов, геологов, механиков по оборудованию, проектировщиков и др. Это позволит получать изделия с минимальной себестоимостью по наилучшим доступным технологиям.

Список литературы

1. Самойлова Е.М. Почвообразующие породы. М.: Изд-во МГУ, 1992. 175 с.
2. Barry C.C., Grant N.M. Ceramic Materials. Science and Engineering. Springer, 2007. 716 p.
3. Гончаров Ю.И. Сырьевые материалы силикатной промышленности. М.: АСВ, 2009. 124 с.
4. Августиник А.И. Керамика. Л.: Стройиздат, 1975. 592 с.

References

1. Samoilova E.M. Pochvoobrazuyushchie porody [Soil-forming rocks]. Moscow: MGU. 1992. 175 p.
2. Barry C.C., Grant N.M. Ceramic Materials. Science and Engineering. Springer. 2007. 716 p.
3. Goncharov Yu.I. Syr'evye materialy silikatnoi promyshlennosti [Silicate raw materials]. Moscow: ASV. 2009. 124 p.

5. Котляр А.В. Клинкерный кирпич низкотемпературного спекания на основе аргиллитоподобных глин и аргиллитов: Дис. ... канд. техн. наук. Ростов н/Д. 2018. 199 с.
6. Кара-Сал Б.К., Чюдюк С.А., Иргит Б.Б. Особенности применения аргиллитовых вскрышных пород угледобычи для производства керамических стеновых материалов // *Вестник Тувинского государственного университета. Вып. 3. Технические и физико-математические науки.* 2020. № 2 (62). С. 6–18.
7. Kotlyar A.V., Lapunova K.A., Lazareva Y.V., Orlova M.E. Effect of argillites reduction ratio on ceramic tile and paving clinker of low-temperature sintering. *Materials and Technologies in Construction and Architecture. Materials Science Forum Submitted.* 2018. Vol. 931, pp. 526–531. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.526>
8. Лапунова К.А., Лазарева Я.В., Некрасова М.Е., Котляр В.Д. Дизайн и применение в архитектуре фасадных керамических плит на основе аргиллитоподобных глин // *Дизайн. Материалы. Технология.* 2017. № 3 (47). С. 10–15.
9. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Глинистые породы. М.: МПР, 2007. 37 с.
10. Котляр А.В. Генезис и общая характеристика аргиллитоподобных глин как сырья для производства клинкерного кирпича // *Вестник Тувинского государственного университета.* 2016. № 3. С. 14–21.
11. Хмелевцов А.А. Условия формирования и специфические свойства аргиллитоподобных глин района г. Большой Сочи // *Инженерный вестник Дона. Сетевой научный журнал.* 2010. № 3. <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/231> (дата обращения 22.02.2022).
12. Котляр А.В. Технологические свойства аргиллитоподобных глин при производстве клинкерного кирпича // *Вестник ТГАСУ.* 2016. № 2 (55). С. 164–175.
13. Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород. М.: ВШ, 1984. 450 с.
14. Фролов В.Т. Литология. Кн. 2. М.: МГУ, 1993. 432 с.
15. Кузнецов В.Г. Литология. Осадочные горные породы и их изучение. М.: Недра-Бизнесцентр, 2007. 511 с.
16. Осипов В.И., Соколов В.Н., Еремеев В.В. Глинистые покрытия нефтяных и газовых месторождений. М.: Наука, 2001. 238 с.
17. Котляр А.В., Талпа Б.В., Лазарева Я.В. Особенности химического состава аргиллитоподобных глин и аргиллитов // *Строительные материалы.* 2016. № 4. С. 10–13.
4. Avgustinik A.I. *Keramika [Ceramics].* Leningrad: Stroyizdat. 1975. 592 p.
5. Kotlyar A.V. Low-temperature sintering clinker brick based on argillite-like clays and argillites. Diss.... Cand. os Sciences (Engineering). Rostov-on-Don. 2018. 199 p. (In Russian).
6. Kara-Sal B.K., Chyudyuk S.A., Irgit B.B. Features of the use of argillite overburden in coal mining for the production of ceramic wall materials. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2020. No. 2 (62), pp. 6–18. (In Russian).
7. Kotlyar A.V., Lapunova K.A., Lazareva Y.V., Orlova M.E. Effect of argillites reduction ratio on ceramic tile and paving clinker of low-temperature sintering. *Materials and Technologies in Construction and Architecture. Materials Science Forum Submitted.* 2018. Vol. 931, pp. 526–531. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.526>
8. Lapunova K.A., Lazareva Ya.V., Nekrasova M.E., Kotlyar V.D. Design and application in architecture of facade ceramic slabs based on argillite-like clays. *Dizain. Materialy. Tekhnologiya.* 2017. No. 3 (47), pp. 10–15. (In Russian).
9. Guidelines for the application of the classification of deposits and inferred resources of solid minerals. Clay rocks. Moscow: MPR. 2007. 37 p. (In Russian).
10. Kotlyar A.V. Genesis and general characteristics of argillite-like clays as raw materials for the production of clinker bricks. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2016. No. 3, pp. 14–21. (In Russian).
11. Khmelevtsov A.A. Formation conditions and specific properties of argillite-like clays in the Greater Sochi region. *Inzhenernyi vestnik Dona. Setevoi nauchnyi zhurnal.* 2010. No. 3. <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/231> (Date of access 22.02.2022). (In Russian).
12. Kotlyar A.V. Technological properties of argillite-like clays in the production of clinker bricks. *Vestnik TGASU.* 2016. No. 2(55), pp. 164–175. (In Russian).
13. Logvinenko N.V. *Petrografiya osadochnykh porod [Petrography of sedimentary rocks.].* Moscow: Vysshaya shkola. 1984. 450 p.
14. Frolov V.T. *Litologiya. Kniga 2 [Lithology. Book 2].* Moscow: MGU. 1993. 432 p.
15. Kuznetsov V.G. *Litologiya. Osadochnye gornye porody i ikh izuchenie [Lithology. Sedimentary rocks and their study].* Moscow: Nedra-Biznestsentr. 2007. 511 p.
16. Osipov V.I., Sokolov V.N., Eremeev V.V. *Glinistye pokryshki neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii [Clay seals of oil and gas fields].* Moscow: Nauka. 2001. 238 p.
17. Kotlyar A.V., Talpa B.V., Lazareva Ya.V. Features of the chemical composition of argillite-like clays and argillites. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials].* 2016. No. 4, pp. 10–13. (In Russian).

В.А. ГУРЬЕВА, д-р техн. наук (victoria-gurieva@rambler.ru),
А.А. ИЛЬИНА, аспирант

Оренбургский государственный университет (460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13)

Отходы никелевого производства в технологии строительной керамики

Проведен анализ потребности и оценка потенциала кирпично-черепичного сырья для Оренбургской области в производстве керамического кирпича. Высокая концентрация горно-металлургических предприятий на территории Уральского региона определяет необходимость рассматривать промышленные отходы, в том числе никелевые шлаки, как возможное сырье для производства керамического кирпича. Представлены статистические данные по количественному запасу кирпичных глин и образованных техногенных отходов никелевого производства на территории Оренбургского региона. Проведен обзор существующих разработок в области производства керамического кирпича с добавлением никелевого шлака с учетом достоинств и недостатков готового продукта. Описаны свойства никелевого шлака, получаемого на металлургических предприятиях Оренбургской области, и особенности его применения в качестве компонента в составе керамического кирпича. Разработаны составы керамической массы с использованием глины Халиловского месторождения (Оренбургская обл.) с добавлением никелевого шлака (36, 46 и 56 мас. %) и определены их физико-механические свойства (предел прочности при сжатии, предел прочности при изгибе, морозостойкость, водопоглощение). Представленные исследования показывают, что разработка керамических изделий из местного сырья с использованием отходов никелевого производства является перспективным направлением и позволяет производить конкурентоспособные строительные материалы.

Ключевые слова: глина, никелевый шлак, физико-механические свойства, техногенный отход, загрязнение окружающей среды.

Для цитирования: Гурьева В.А., Ильина А.А. Отходы никелевого производства в технологии строительной керамики // *Строительные материалы*. 2022. № 4. С. 38–42. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-38-42>

V.A. GURYEVA, Doctor of Sciences (Engineering) (Victoria-gurieva@rambler.ru);
A.A. ILYINA, Graduate Student
Orenburg State University (13, Pobedy Avenue, Orenburg, 460018, Russian Federation)

Wastes of Nickel Production in the Technology of Building Ceramics

An analysis of the needs and assessment of the potential of brick and tile raw materials for the Orenburg region in the production of ceramic bricks was carried out. The high concentration of mining and smelting enterprises in the Ural region determines the need to consider industrial waste, including nickel slag, as a possible raw material for the production of ceramic bricks. Statistical data on the quantitative stock of brick clays and formed technogenic wastes of nickel production on the territory of the Orenburg region are presented. A review of existing developments in the field of production of ceramic bricks, with the addition of nickel slag, was carried out, taking into account the advantages and disadvantages of the finished product. The properties of nickel slag obtained at metallurgical enterprises of the Orenburg region and the features of its use as a component in the composition of ceramic bricks are described. The compositions of the ceramic mass were developed using clay from the Khalilovskoye deposit (Orenburg region) with the addition of nickel slag (36, 46 and 56% by weight) and their physical and mechanical properties (ultimate compressive strength, ultimate flexural strength, frost resistance, water absorption) were determined. The presented studies show that the development of ceramic products from local raw materials using nickel production waste is a promising direction and allows the production of competitive local building materials.

Keywords: clay, nickel slag, physical and mechanical properties, industrial waste, environmental pollution.

For citation: Gurieva V.A., Ilyina A.A. Wastes of nickel production in the technology of building ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 4, pp. 38–42. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-38-42>

Несмотря на активное применение в строительной индустрии бетонных и железобетонных изделий, стеновые керамические материалы с физико-механическими характеристиками, соответствующими ГОСТ 530–2012, на рынке материалов продолжают оставаться востребованными для крупных застройщиков и индивидуальных потребителей. За последние годы в Оренбургской области потребность в керамической продукции возросла в несколько раз, но в настоящее время в области функционирует всего два предприятия по производству керамического кирпича: ООО «Кувандыкский кирпичный завод» — пред-

приятие производит и реализует кирпич клинкерный керамический; ООО «Экономия», г. Бузулук — завод производит кирпич, черепицу и прочие строительные изделия из обожженной глины. Мощностей этих предприятий не хватает для обеспечения Оренбургской области керамическими изделиями, поэтому большая часть продукции является привозной (г. Магнитогорск, ЗАО «Строительный комплекс», завод «Керамик»; г. Мелеуз, ООО «Мелеузовский кирпичный завод»; г. Белебей, ООО «Торговый дом «Керамика» и др.). Решение данного вопроса связано с совершенствованием технологии и модернизацией



Рис. 2. Образцы керамического кирпича: *a* – кирпич керамический традиционного состава; *b* – кирпич керамический с добавлением шлака 56% (состав 3)
Fig. 2. Samples of ceramic bricks: *a* – brick ceramic traditional composition; *b* – ceramic brick with the addition of slag 56% (composition 3)

Перед разработкой шихты был проведен анализ работ по исследованию применения никелевых шлаков в производстве строительных материалов [6–9]. Известна керамическая масса для изготовления строительных изделий, преимущественно облицовочной плитки, разработанная Л.В. Королевой с соавторами. Состав, мас. %: глина 14–40; шлак никелевого производства 51–78; вода – остальное. Недостатками данного изобретения яв-

ляется сравнительно низкая прочность при сжатии (20,2–31,2 МПа) и морозостойкость изделий (75–120 циклов) [8].

Наиболее близкой к разрабатываемой в ходе исследования керамической массе является сырьевая смесь для изготовления облицовочной плитки, содержащая глину, шлак никелевого производства, воду, дополнительно включает шлак свинцовой плавки при следующем соотношении компонентов, мас. %: глина – 43–48; шлак никелевого производства – 36–38; шлак свинцовой плавки – 8–10; вода – 6–11 [9]. Образцы из керамической массы данного состава показали сравнительно низкую прочность при сжатии (25,3 МПа) и морозостойкость (200–220 циклов).

В табл. 1 приведены составы разработанных в ходе исследования керамических масс и прототипа [9], в соответствии с которыми на основе химического состава сырьевых компонентов произведен расчет химических составов опытных керамических масс и прототипа (табл. 2).

Таблица 1
Table 1

Составы керамических масс
Compositions of ceramic masses

Компонент	Содержание компонента для составов, мас. %			
	Прототип в пересчете на сухое вещество	Разработанных керамических масс		
		1	2	3
Глина	48	64	54	44
Никелевый шлак	43	36	46	56
Шлак свинцовой плавки	9	–	–	–

Таблица 2
Table 2

Химические составы разработанных керамических масс и прототипа
Chemical compositions of the developed ceramic masses and prototype

Химический элемент	Процентное содержание, %			
	Прототип	Предлагаемая керамическая масса		
		1	2	3
SiO ₂	48,1	52,83	53,76	54,68
Al ₂ O ₃	11,1	19,13	18,67	18,21
Fe ₂ O ₃ общ	7,1	7,54	7,68	7,82
MgO	5,2	2,53	2,47	2,41
CaO	21	4,71	5,27	5,83
K ₂ O	–	1,14	0,96	0,78
TiO ₂	0,2	0,68	0,58	0,47
Na ₂ O	–	0,34	0,29	0,23
P ₂ O ₅	–	0,17	0,14	0,12
MnO	0,1	0,05	0,05	0,04
S _{общ}	1	0,67	0,83	1
Zn	1,2	–	–	–
ППП	5	10,21	9,3	8,41
Сумма	100	100	100	100

Таблица 3
Table 3Физико-механические свойства кирпича из разработанных керамических масс и массы прототипа
Physical and mechanical properties of bricks from the developed ceramic masses and the mass of the prototype

Показатели	Значения для изделий, полученных на основе составов			
	Прототип	Опытных керамических масс		
		1	2	3
Предел прочности при сжатии, МПа	25,3	38,5	36,2	34,3
Предел прочности при изгибе, МПа	3,8	5,1	4,9	4,7
Морозостойкость, цикл	220	230	240	250
Водопоглощение, %	14,2	12,98	13,2	13,5

Согласно [10], по количеству $Al_2O_3+TiO_2$ можно косвенно оценить спекаемость керамического кирпича и его качество. Согласно расчетам, $Al_2O_3+TiO_2$ в изделии-прототипе 11,3%, в опытных массах суммарное количество данных оксидов изменяется соответственно 19,81; 19,25; 18,68. Из полученных результатов следует, что содержание $Al_2O_3+TiO_2$ в опытных массах увеличено, следовательно, прогнозируемо повышение прочности изделий. Также положительное влияние на прочность оказывает количественное содержание оксида железа – Fe_2O_3 [11]. Из табл. 2 видно, что отношение $(Al_2O_3+TiO_2)/Fe_2O_3$ для прототипа составляет 1,59, для предлагаемых керамических масс это отношение варьируется в пределах от 2,3 до 2,5. Таким образом, теоретически, исходя из результатов расчетов, можно сделать вывод, что прочность образцов из предлагаемых керамических масс в среднем на 30% выше, чем у прототипа. В табл. 3 представлены физико-механические свойства кирпича из разработанных авторами керамических масс.

Из табл. 3 видно, что опытные керамические массы обеспечивают по сравнению с результатами изделий из массы-прототипа увеличение предела прочности при сжатии кирпича от 25 до 35% (в среднем на 30%), прочности при изгибе – от 19 до 26% (в среднем на 22%), морозостойкости – от 4 до 12% (в среднем на 8%). Улучшение физико-механических показателей достигается тем, что в образцах из предложенных керамических масс при температуре обжига 800°C на рентгенограммах появляется галло, указывающее на образование соединений аморфной

структуры: сформирована жидкофазная составляющая, обогащенная ионами железа, кальция и магния, из которой при увеличении температуры синтеза до 1050°C формируются, согласно данным рентгенофазового анализа, структурообразующие кристаллические фазы гематита, силикатов кальция и магния [12]. Высокими показателями прочности и морозостойкости при однотипных условиях обжига (скорости нагрева, максимальной температуре, продолжительности выдержки при максимальной температуре) и формы изделий повышают конкурентоспособность кирпича из предложенных составов масс. На рис. 2 представлен внешний вид керамического кирпича, полученного на основе заводской массы, и керамического кирпича с добавлением шлака в количестве 56% (состав 3), разработанного в рамках представленного исследования.

Активное использование в строительной области промышленных отходов, а именно никелевых шлаков, позволит сократить уже имеющиеся отвалы, а также предотвратить образование новых, что благоприятно скажется на экологической обстановке региона. Представленные исследования показывают, что разработка керамических изделий из местного сырья с использованием отходов никелевого производства является перспективным направлением и позволяет производить конкурентоспособные местные строительные материалы, в частности керамический кирпич, физико-механические свойства которого, такие как прочность, морозостойкость и пр., соответствуют требованиям ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камни керамические. Общие технические условия».

Список литературы

1. Об утверждении перечня участков недр местного значения Оренбургской области, предлагаемых для предоставления в пользование для геологического изучения с целью поисков и оценки месторождений общераспространенных полезных ископаемых за счет средств недропользователей в 2018 г. // *Вечерний Оренбург*. 2018. № 50.
2. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Оренбургской

References

1. On approval of the list of subsoil plots of local importance in the Orenburg region, proposed for granting for use for geological study for the purpose of prospecting and evaluating deposits of common minerals at the expense of subsoil users in 2018. *Evening Orenburg*. 2018. Vol. 50. (In Russian).
2. Information on the state and prospects for the use of the mineral resource base of the Orenburg region as of June 15, 2021 [Electronic resource]. <http://atlaspack-et.vsegei.ru/#3204c666aa8ed5083> (In Russian).

- области на 15.06.2021 г. [Электронный ресурс]. <http://atlaspacket.vsegei.ru/#3204c666aa8ed5083>
3. Государственные доклады об охране и о состоянии окружающей среды Российской Федерации. [Электронный ресурс]. <http://www.mnr.gov.ru>
 4. Гильмундинов В.М., Тагаева Т.О., Бокслер А.И. Анализ и прогнозирование процессов обращения с отходами в РФ // *Проблемы прогнозирования*. 2020. № 1 (178). С. 126–134.
 5. Гурьева В.А., Ильина А.А., Мажирина А.Д., Жданова А.С. Анализ сырьевой базы Оренбуржья для производства ресурсосберегающего керамического кирпича. *Строительное материаловедение: настоящее и будущее: Сборник материалов I Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию выдающегося ученого-материаловеда, академика РААСН Юрия Михайловича Баженова*. Москва. Октябрь 2020. С. 215–220.
 6. Zhanga C., Wang X., Zhu H., Wua Q., Hu Z., Feng Z., Jia Z. Preparation and properties of foam ceramic from nickel slag and waste glass powder // *Ceramics International*. 2020. Vol. 46. Iss. 15, pp. 23623–23628. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.06.134>
 7. Wu Q., Wu Y., Tong W., Ma H. Utilization of nickel slag as raw material in the production of Portland cement for road construction // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 193, pp. 426–434 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.109>
 8. Патент РФ 606841. Сырьевая смесь для изготовления строительных изделий / Л.В. Королева, Л.В. Кулик, В.И. Якубов. 1978. Бюл. № 18.
 9. Патент РФ 2358947. Сырьевая смесь для изготовления облицовочной плитки / Ю.А. Щепочкина. 2009. Бюл. № 17.
 10. Августиник А.И. Керамика. М.: Стройиздат, 1975. 592 с.
 11. Ефимов А.И. Высокопрочный керамический кирпич с железосодержащими добавками, улучшающими реологию и спекание глинистых пород // *Строительные материалы*. 2000. № 4. С. 15–16.
 12. Стеклов К.К. Структура и свойства огнеупоров: *Металлургия*. М., 1972. 216 с.
 3. State reports on the protection and state of the environment of the Russian Federation. [Electronic resource]. <http://www.mnr.gov.ru> (In Russian).
 4. Gilmundinov V.M., Tagaeva T.O., Boxler A.I. Analysis and forecasting of waste management processes in the Russian Federation. *Problemy prognozirovaniya*. 2020. No. 1 (178), pp. 126–134. (In Russian).
 5. Gurieva V.A., Ilyina A.A., Mazhirin A.D., Zhdanova A.S. Analysis of the raw material base of the Orenburg region for the production of resource-saving ceramic bricks. *Building materials science: present and future. Collection of materials of the I All-Russian Scientific Conference dedicated to the 90th anniversary of the outstanding materials scientist, Academician of the RAACS Yuri Mikhailovich Bazhenov*. Moscow, October 2020, pp. 215–220. (In Russian).
 6. Zhanga C., Wang X., Zhu H., Wua Q., Hu Z., Feng Z., Jia Z. Preparation and properties of foam ceramic from nickel slag and waste glass powder. *Ceramics International*. 2020. Vol. 46. Iss. 15, pp. 23623–23628. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.06.134>
 7. Wu Q., Wu Y., Tong W., Ma H. Utilization of nickel slag as raw material in the production of Portland cement for road construction. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 193, pp. 426–434 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.1098>
 8. Patent RF 606841. Raw mix for the manufacture of building products / Koroleva L.V., Kulik L.V., Yakubov V.I. 1978. Bulletin No. 18. (In Russian).
 9. Patent RF 2358947. Raw mix for the manufacture of facing tiles / Shchepochkin Yu.A. 2009. Bulletin No. 17. (In Russian).
 10. Avgustinik A.I. *Keramika*. [Ceramics]. Moscow: Stroyizdat, 1975. 592 p.
 11. Efimov A.I. High-strength ceramic brick with iron-containing additives that improve rheology and sintering of clayey rocks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2000. No. 4, pp. 15–16. (In Russian).
 12. Stekolov K.K. *Struktura i svoystva ogneuporov: Metallurgiya* [Structure and properties of refractories: Metallurgy]. Moscow. 1972. 216 p.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**Учебное пособие «Промышленное и гражданское строительство. Введение в профессию»**

Авторы: Грызлов В.С., Ворожбянов В.Н., Гендлина Ю.Б., Залипаева О.А., Каптюшина А.Г., Медведева Н.В., Петровская А.А., Поварова О.А., Чорная Т.Н.

Научный редактор – д-р техн. наук, проф. В.С. Грызлов

Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 276 с.

Дана общая характеристика профессии строитель. Приведены сведения из истории развития строительной отрасли. Предложено краткое описание видов строительной продукции, особенностей проектирования строительных объектов, технологии и порядка организации возведения зданий и сооружений; раскрыты вопросы менеджмента в строительстве. Подчеркнута важность строительной науки и цифровизации строительной деятельности. Отдельная глава посвящена особенностям организации инженерно-строительного обучения. Для студентов бакалавриата, начавших обучение по направлению «Строительство». Может быть использовано для профориентационной работы с выпускниками школ.

По вопросам приобретения обращайтесь в издательство «Инфра-Инженерия»





АКОМА

Оборудование Кирпичных Заводов
www.akoma.pro

Свяжитесь с нами

454047, г. Челябинск,
ул. Разурная П а, стр. 23
www.akoma @ yandex .ru

Оказываем услуги по проектированию и изготовлению оборудования для кирпичных заводов и заводов по изготовлению керамической плитки.

- Глинорыхлители одновальные до 50т/ч
- Глинорыхлители двухвальные до 120т/ч
- Глинорезы до 40 т/ч
- Питатели ленточные до 120т/ч
- Питатели пластинчатые до 40т/ч
- Вальцы перфорированные VP369
- Вальцы винтовые
- Вальцы камневыведательные
- Глиносмесители до 40т/ч
- Автомат однострунной резки сырца
- Вагонетки сушильные, печные
- Трансбордеры сушильные, печные.



Глинорыхлитель Z800.100



Глинорыхлитель ZP800.120



Вальцы перфорированные



Трансбордер печной



Глинорез Z660.20



Глинорез Z660.40

Р
е
к
л
а
м
а

В РАМКАХ ВЫСТАВКИ
СТТ EXPO

25-26
МАЯ 2022

МОСКВА
МВЦ «КРОКУС ЭКСПО»,
ПАВИЛЬОН 3,
ОТЕЛЬ «АКВАРИУМ»

www.fc-union.com,
info@fc-union.com,
+7 (495) 66-55-014,
+7 925 57-57-810

12+

IX МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ»

Организатор конференции
ААС
INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

10 ЛЕТ
2022

Генеральный спонсор
конференции
СИНЕРГО

Спонсоры конференции
**MALININ
GROUP**

ГСТ
ГеоСпецТехнология

Официальная поддержка
НИЦ СТРОИТЕЛЬСТВО
научно-исследовательский центр
СТТ EXPO

Генеральные информационные партнеры

ФУНДАМЕНТЫ

СТТ

ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА

СЕРВИС

**ОРОЖИНАЯ
ЕРДЖАВА**

**СТРОИТЕЛЬНАЯ
ОРБИТА**

**МАТЕРИАЛЫ
СТРОИТЕЛЬСТВА**

СТРОИТЕЛЬНЫЙ

И.С. ГРУШКО^{1,2}, канд. техн. наук (grushkois@gmail.com)¹ Донской государственный технический университет (344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)² Южно-Российский политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова (346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132)

Влияние технологических добавок на структуру пеностекла

Совокупность свойств пеностекла обеспечивает возможность его использования во многих отраслях народного хозяйства. Несмотря на множество публикаций, посвященных пеностеклу, недостаточно изучены вопросы его строения. Мало изучены вопросы кинетики процесса вспенивания пеностекла, шихтовые составы которого по-разному предрасположены к кристаллизации, а также создания пеностекла с заданными свойствами в зависимости от условий его синтеза. Целью настоящей работы является изучение влияния технологических добавок на структуру пеностекла. Рассмотрены девять составов пеностекла, основными компонентами которых являются стеклосбой, золошлаковая смесь. В качестве технологических добавок использованы натрий тетраборнокислый, мел технический; в качестве инициаторов кристаллизации – оксид хрома, диоксид циркония, оксид магния; в качестве газообразователя – антрацит. Синтезированные образцы изучены с использованием микротомографического анализа, проведен расчет и анализ микротомографической пористости, рассчитаны общая и закрытая пористость, гистограммы распределения объема пор по количеству, визуализированы картины распределения вещества, наиболее плотных включений и пор в объеме. Показан механизм объемной кристаллизации стекла, характеризующийся химической дифференциацией стекла, обуславливающий неоднородность его структуры. Результаты являются последовательным этапом в серии исследований, направленных на решение задачи разработки технологии проектирования строительных материалов с использованием золошлаковых отходов различных ТЭС.

Ключевые слова: пеностекло, золошлаковая смесь, технологические добавки, микротомографический анализ, кристаллизации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-33-60077\19. Микротомографические исследования выполнены в ресурсном центре «Рентгенодифракционные методы исследования» Научного парка СПбГУ.

Для цитирования: Грушко И.С. Влияние технологических добавок на структуру пеностекла // *Строительные материалы*. 2022.

№ 4. С. 44–48. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-44-48>

I.S. GRUSHKO^{1,2}, Candidate of Sciences (Engineering) (grushkois@gmail.com)¹ Don State Technical University (1, 344000, Gagarina Square., Rostov-on-Don, Russian Federation)² Platov South-Russian State Polytechnic University (132, Prosvjaschenija Street, Novocherkassk, 346428, Russian Federation)

The Effect of Technological Additives on the Structure of Foam Glass

The set of properties of foam glass provides the possibility of its use in many sectors of the national economy. Despite a fairly large number of publications devoted to foam glass, the issues of its structure have not been sufficiently studied. The issues of the kinetics of the foaming process of foam glass, the charge compositions of which are differently predisposed to crystallization, as well as the creation of foam glass with specified properties, depending on the conditions of its synthesis, are little studied. The purpose of this work is to study the effect of technological additives on the structure of foam glass. 9 compositions of foam glass, the main components of which are cullet, ash-slag mixture, are considered. Sodium tetraborate, technical chalk were used as technological additives; chromium oxide, zirconium dioxide, magnesium oxide were used as initiators of crystallization, anthracite was used as a gas-forming agent. The synthesized samples were studied using microtomographic analysis, the calculation and analysis of microtomographic porosity was carried out, the total and closed porosity, histograms of the distribution of the pure volume by quantity were calculated, the distribution patterns of the substance, the densest inclusions and pores in the volume are visualized. The mechanism of volumetric crystallization of glass, characterized by chemical differentiation of glass, causing heterogeneity of its structure, is shown. The results are a sequential stage in a series of studies aimed at solving the problem of developing a technology for designing building materials with the use of ash and slag waste from various thermal power plants.

Keywords: foam glass, ash-slag mixture, technological additives, microtomographic analysis, crystallization.

The research was carried out with the financial support of the RFBR in the framework of the scientific project No. 19-33-60077\19. Microtomographic studies were performed at the Resource Center "X-ray Diffraction Research Methods" of the St. Petersburg State University Science Park.

For citation: Grushko I.S. The effect of technological additives on the structure of foam glass. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 4, pp. 44–48. (In Russian).

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-44-48>

Строительный комплекс является фактически главным звеном в проблеме энергосбережения больших городов. Основным направлением для решения проблемы тепловых потерь является увеличение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций за счет применения эффективных теплоизоляционных материалов. Актуальным является как создание новых теплоизоляционных материалов с необходимым набором эксплуатационных характеристик, так и совершенствование, оптимизация от-

дельных свойств существующих материалов, их грамотное применение и использование при проектировании и строительстве новых, а также при реконструкции существующих зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения.

Пеностекло обладает низкой теплопроводностью, высокой прочностью, морозостойкостью, низкой плотностью [1–3]. Также материал экологически безопасен, не воспламеняется и не горит, не подвержен поражению бактериями и грибами, не привлека-

ет в качестве пищи грызунов ввиду полностью неорганического состава. Совокупность вышеуказанных свойств обеспечивает возможность его использования во многих отраслях народного хозяйства [4, 5].

Несмотря на достаточно большое количество публикаций, посвященных пеностеклу [6], его применению [7], свойствам [8], особенностям производства [9, 10] и др., недостаточно изучены вопросы его строения. Физические свойства пеностекла зависят в том числе и от его макро- и микроструктуры, которые регулируются изменением температурного режима синтеза и модификацией состава путем введения технологических добавок [11]. Известно, что кристаллическая фаза неоднозначно влияет на синтез пеностекла: при вспенивании затормаживает рост ячеек, при стабилизации увеличивает структурно-механическую прочность образовавшейся пены в пиропластичном состоянии. Однако не только во всех приведенных работах [4–11], но и в гораздо более поздних исследованиях [12] отсутствует информация о прямой зависимости между физико-химическими параметрами стекла и наличием в нем кристаллической фазы. В связи с этим вопросы кинетики процесса вспенивания пеностекла, шихтовые составы которого по-разному предрасположены к кристаллизации, а также создания пеностекла с задан-

ными свойствами в зависимости от условий его синтеза мало изучены.

Понимание механизмов воздействия особенностей строения материала на его эксплуатационные свойства позволит создать теоретическую основу для проектирования новых структур материалов и способов их создания, изначально задавая им необходимые значения ключевых физико-механических свойств.

Целью настоящей работы является изучение влияния технологических добавок на структуру пеностекла. Значения общей и закрытой пористости, а также распределение объема пор по количеству влияет на значения теплопроводности материала, а также на его прочностные свойства.

В соответствии с ранее полученными результатами научной работы [13] рассмотрены девять составов пеностекла, основные компоненты которых стеклобой (табл. 1), золошлаковая смесь (табл. 2). Использование золошлаковой смеси (ЗШС) как побочного продукта сжигания угля на ТЭС обусловлено частичной заменой стеклобоя для снижения стоимости конечного продукта, а также нагрузки на окружающую среду [6, 14, 15].

В качестве технологических добавок использованы натрий тетраборнокислый, мел технический, в качестве газообразователя – антрацит. С целью фор-

Таблица 1
Table 1

Химический состав стеклобоя
The chemical composition of cullet

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO	Итого
Отклонения ±	1,45	0,44	1,44	1,88	0,13	1,01	0,13	–
Содержание	14,14	3,6	2,02	69,88	0,52	7,99	0,37	98,52

Таблица 2
Table 2

Химический состав золошлаковой смеси
The chemical composition of the ash&slag mixture

Оксид	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Содержание, мас. %	57,13	0,88	21,46	10,55	0,12	1,73	2,9	1,11	3,28
Оксид	P ₂ O ₅	BaO	SO ₃	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	NiO	LOI	SUM	–
Содержание, мас. %	0,13	0,14	0,07	0,03	0,02	0,01	0,43	99,99	–

Таблица 3
Table 3

Шихтовые составы модификаций образцов
Batch mixture compositions of the samples modifications

Условное обозначение состава	Компоненты, г							
	ЗШС	Стеклобой	Натрий тетраборнокислый	Антрацит	Мел	ZrO ₂	MgO	Cr ₂ O ₃
II-7(10)	30	70	10	7	–	–	–	–
III-7(0.75)	30	70	10	7	–	–	–	0,75
III-7 (1.0)	30	70	10	7	–	–	–	1
V-7(0.25)ZrO ₂ (2)	30	70	10	7	2	0,25	–	–
VI-7(0.25)ZrO ₂ (5)	30	70	10	7	5	0,25	–	–
V-7(0.25)MgO(2)	30	70	10	7	2	–	0,25	–
VI-7(0.25)MgO(5)	30	70	10	7	5	–	0,25	–
V-7(0.25)Cr ₂ O ₃ (2)	30	70	10	7	2	–	–	0,25
VI-7(0.25)Cr ₂ O ₃ (5)	30	70	10	7	5	–	–	0,25

Таблица 4
Table 4

Общая и закрытая пористость
Total and closed porosity

Условное обозначение состава	Микротомографическая пористость	
	Закрытая, %	Общая, %
II-7 (10)	1,2	56,1
III-7 (0,75)	0,5	69,9
III-7 (1,0)	0,5	70,1
V-7 (0,25) ZrO ₂ (2)	0,6	72,6
VI-7 (0,25) ZrO ₂ (5)	0,8	68,3
V-7 (0,25) MgO (2)	1,9	74,9
VI-7 (0,25) MgO (5)	0,7	71,4
V-7 (0,25) Cr ₂ O ₃ (2)	0,1	77,3
VI-7 (0,25) Cr ₂ O ₃ (5)	0,8	71,1

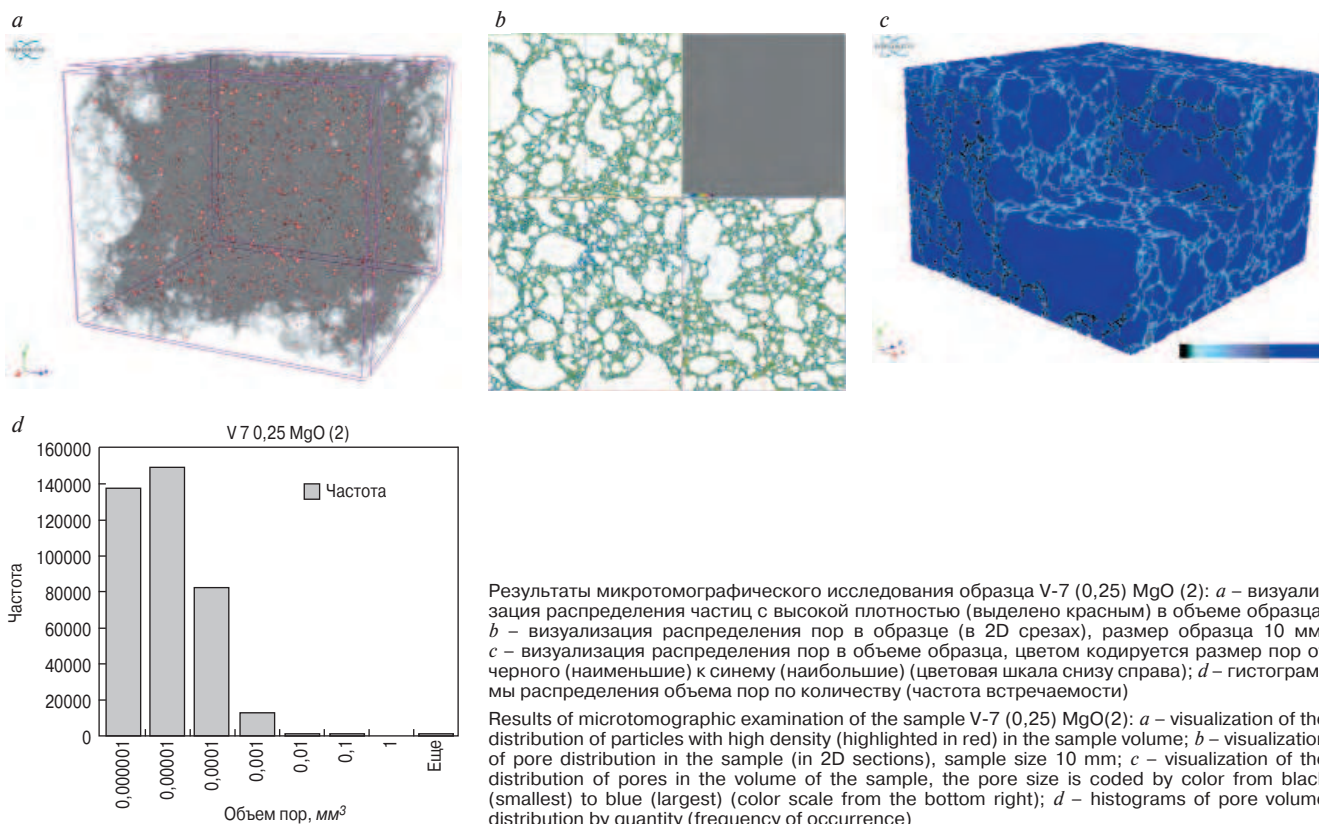
мирования кристаллических фаз в аморфной структуре пеностекла в качестве инициаторов кристаллизации использованы оксид хрома Cr₂O₃, диоксид циркония ZrO₂, оксид магния MgO. Составы подготовленных образцов приведены в табл. 3.

Синтезированные образцы пеностекла в количестве 9 шт. изучены с использованием микротомографического анализа при помощи микротомографа «Skyscan-172» со следующими параметрами: напряжение 100 кВ; сила тока 100 мкА; разрешение 6,64 мкм/пиксель; фильтр Al; угол вращения 0,4°; вращение 180°; усреднение по пяти кадрам; время сканирования около 2 ч. Расчет и анализ микротомографической пористости проводился при помощи прикладного ПО STAn (Bruker), визуализация ре-

зультатов сканирования при помощи прикладного ПО DataViewer и CTvox (Bruker).

На основании полученных результатов микротомографического сканирования для исследуемых образцов рассчитаны общая и закрытая пористость (табл. 4), гистограммы распределения объема пор по количеству, визуализированы картины распределения вещества, наиболее плотных включений и пор в объеме. При анализе микротомографических данных есть ограничение, связанное с техническими возможностями прибора: поры и объекты размерами менее величины пространственного разрешения (в данном случае 6,64 мкм) не учитываются. Микротомографическое сканирование подразумевает анализ распределения рентгеновской плотности в объеме образца, при этом все значения плотности кодируются в диапазоне 0–255 (оттенки серого), от наименьшего значения плотности до максимального.

Для исследованных образцов величина пористости находится в пределах от 56,1% (образец II-7 (10)) до 74,9% (образец V-7 (0,25) MgO(2)). Отметим, что образцы отличаются по распределению пор в пространстве и по соотношению количества пор разного размера. Особенно выделяется образец V-7 (0,25) MgO(2), содержащий MgO и среднее количество мела (2 г) и, помимо высокой пористости, демонстрирующий большее количество пор, объем которых лежит в диапазоне 1·10⁻⁶–1·10⁻⁵ мм³, в отличие от остальных образцов, где максимальное количество пор приходится на диапазон 0–1·10⁻⁶ мм³ (см. рисунок). В этом же образце отмечено максимальное количество пор с объемом 1·10⁻³–1·10⁻² мм³.



При изменении содержания инициатора кристаллизации оксида хрома (составы II-7 (10), III-7(0,75), III-7 (1,0)) наблюдается тенденция роста общей пористости от 56,1 до 70,1%, а закрытая пористость, напротив, снижается от 1,2 до 0,5%. Анализ составов, содержащих мел и различные инициаторы кристаллизации, показывает следующее. При увеличении содержания мела закрытая пористость возрастает в составах, содержащих диоксид циркония от 0,6 до 0,8% и оксид магния от 0,1 до 0,8%. При увеличении содержания мела в образцах V-7 (0,25) MgO (2) и VI-7 (0,25) MgO (5) значение закрытой пористости снижается более чем в два раза (от 1,9 до 0,7% соответственно). Присутствие мела в образцах дает более высокое значение пористости по сравнению с образцами без мела. Общая пористость снижается во всех составах, содержащих инициаторы кристаллизации, при увеличении количества мела.

Анализ гистограмм распределения объема пор по количеству (частоте встречаемости) выявил следующие закономерности. В составах II-7 (10), III-7 (0,75), III-7 (1,0) количество пор размером $1 \cdot 10^{-6}$ мм³ увеличивается по мере появления и возрастания оксида хрома в составе материала, количество пор размером $1 \cdot 10^{-5}$ мм³ незначительно снижается, поры размером $1 \cdot 10^{-4}$ мм³ растут по частоте встречаемости при появлении оксида хрома, а при увеличении его на 0,25% остаются неизменными. При рассмотрении результатов анализа материалов, содержащих мел и инициаторы кристаллизации (оксид хрома, диоксид циркония, оксид магния), при увеличении содержания мела обнаружено следующее: количество пор размером $1 \cdot 10^{-6}$ мм³ снижается у составов с диоксидом циркония и оксидом хрома; в составах с оксидом магния, напротив, их количество растет. Частота встречаемости пор размером $1 \cdot 10^{-5}$ мм³ снижается в составах с оксидом магния и оксидом хрома, а в присутствии диоксида циркония их количество увеличи-

вается. Общая тенденция снижения частоты встречаемости пор размером $1 \cdot 10^{-4}$ мм³ наблюдается во всех вышеуказанных составах, содержащих инициаторы кристаллизации.

Выполненные микротомографические исследования позволяют заключить, что все рассмотренные образцы обладают равномерно распределенной общей пористостью по объему, имеют кристаллические включения в аморфной матрице материала, расположенные равномерно; в них преобладают поры нанометрового объема, межпоровые перегородки имеют толщину в диапазоне десятков нм.

Результаты исследования модификаций микроструктуры пеностекла показали образование различной доли кристаллических фаз в аморфном каркасе пеностекла. Показан механизм объемной кристаллизации стекла, характеризующийся химической дифференциацией стекла, обуславливающий неоднородность его структуры. В роли центров кристаллизации выступали как имеющиеся в сырьевых компонентах кристаллические фазы (в ЗШС), так и введенные дополнительно инициаторы кристаллизации (оксид хрома, диоксид циркония, оксид магния). Для формирования дополнительных кристаллических фаз и равномерной пористой структуры введен технический мел как источник кальция.

Представленные результаты являются последовательным шагом в серии исследований, направленных на решение глобальной задачи разработки технологии проектирования строительных материалов на основе золошлаковых отходов различных ТЭС. Выявленные механизмы будут иметь место в пределах одной системы стекол. В рамках дальнейших работ предполагается исследование влияния микроструктуры пеностекла на эксплуатационные свойства строительного материала, а также исследование аналогичных закономерностей применительно к иным системам стекол и обобщение результатов.

Список литературы

1. Lebullenger R., Chenu S., Rocherullé J. et al. Glass foams for environmental applications. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2010. Vol. 356. Iss. 44–49, pp. 2562–2568. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2010.04.050>
2. Taurino R., Lancellotti I., Barbieri L., Leonelli C. Glass-ceramic foams from borosilicate glass waste. *International Journal of Applied Glass Science*. 2014. Vol. 5. Iss. 2, pp. 136–145. <https://doi.org/10.1111/ijag.12069>
3. Xu B., Liang K. M., Cao J. W., Li Y. H. Preparation of foam glass ceramics from phosphorus slag. *Advanced Materials Research. 6th China International Conference on High Performance Ceramics, CICC-6*. Harbin, China. 2009. Vol. 105–106. Iss. 1. 2010, pp. 600–603.
4. Пучка О.В., Сергеев С.В., Вайсера С.С., Калашников Н.В. Высокоэффективные теплоизоляционные материалы на основе техногенного

References

1. Lebullenger R., Chenu S., Rocherullé J. et al. Glass foams for environmental applications. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2010. Vol. 356. Iss. 44–49, pp. 2562–2568. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2010.04.050>
2. Taurino R., Lancellotti I., Barbieri L., Leonelli C. Glass-ceramic foams from borosilicate glass waste. *International Journal of Applied Glass Science*. 2014. Vol. 5. Iss. 2, pp. 136–145. <https://doi.org/10.1111/ijag.12069>
3. Xu B., Liang K. M., Cao J. W., Li Y. H. Preparation of foam glass ceramics from phosphorus slag. *Advanced Materials Research. 6th China International Conference on High Performance Ceramics, CICC-6*. Harbin, China. 2009. Vol. 105–106. Iss. 1. 2010, pp. 600–603.
4. Puchka O.V., Sergeev S.V., Weisser S.S., Kalashnikov N.V. Highly efficient heat-insulating materials based on technogenic raw materials. *Vestnik BSTU*

- сырья // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2013. № 2. С. 51–55.
5. Казьмина О.В., Кузнецова Н.А. Получение высокоэффективного теплоизоляционного строительного материала на основе золошлаковых отходов тепловых электростанций // *Огнеупоры и техническая керамика*. 2012. № 1–2. С. 78–82.
 6. Rawlings R.D., Wu J.P., Boccaccini A.R. Glass-ceramics: Their production from wastes-A Review. *Journal of Materials Science*. 2006. Vol. 41, Iss. 3, pp. 733–761. <https://doi.org/10.1007/s10853-006-6554-3>
 7. Колекова А.В., Рачинская М.П. Пеностекло и его применение в России // *Современные научные исследования и инновации*. 2012. № 5 (13). С. 18.
 8. Минько Н.И., Пучка О.В., Евтushенко Е.И., Нарцев В.М., Сергеев С.В. Пеностекло – современный эффективный неорганический теплоизоляционный материал // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 64. С. 849–854.
 9. Федосов С.В., Баканов М.О., Никишов С.Н. Основные принципы технологии получения теплоизоляционного пеностекла, подходы к моделированию. *Сборник «Эффективные строительные композиты». Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича*. Белгород, 2015. С. 690–699.
 10. Qu Y.-N. et al. Lightweight and high-strength glass foams prepared by a novel green spheres hollowing technique // *Ceramics International*. 2016. Vol. 42. Iss. 2, pp. 2370–2377. doi: 10.1016/j.ceramint.2015.10.034
 11. Дамдинова Д.Р., Павлов В.Е., Хардаев П.К., Дружинин Д.К., Вторушин Н.С., Баторова И.Ю. Влияние состава на структуру и свойства пеностекла с использованием золошлаковых отходов ТЭЦ // *Научное обозрение*. 2016. № 10. С. 47–55.
 12. Пучка О.В., Лесовик В.С., Вайсера С.С. Использование стеклокомпозитов для строительства в условиях Арктики. *Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства: Сборник докладов международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию В.С. Лесовика: В 3 ч*. Белгород, 2016. С. 29–36.
 13. Грушко И.С., Скибин Г., Дружинина Е. Обоснование и проектирование составов теплоизоляционного материала (пеностекла) с использованием вторичных ресурсов // *Строительство и технологическая безопасность*. 2019. № 15 (67). С. 87–100.
 14. Lázár M., Hnatko M., Sedláček J., Čarnogurská M., Brestovič T. Upgrading the glassy slag from waste disposal by thermal plasma treatment // *Waste Management*. 2018. Vol. 78, pp. 173–182. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.05.042
 15. Li J., Zhuang X., Querol X., Font O., Moreno N. A review on the applications of coal combustion products in China // *International Geology Review*. 2018. Vol. 60. Iss. 5–6, pp. 671–716. <https://doi.org/10.1080/00206814.2017.1309997>
 - named after V.G. Shuhov. 2013. No. 2, pp. 51–55. (In Russian).
 5. Kazmina O.V., Kuznetsova N.A. Obtaining a highly efficient heat-insulating building material based on ash and slag waste of thermal power plants. *Ogneupory i tehničeskaja keramika*. 2012. No. 1–2, pp. 78–82. (In Russian).
 6. Rawlings R.D., Wu J.P., Boccaccini A.R. Glass-ceramics: Their production from wastes-A Review. *Journal of Materials Science*. 2006. Vol. 41, Iss. 3, pp. 733–761. <https://doi.org/10.1007/s10853-006-6554-3>
 7. Kolekova A.V., Rachinskaya M.P. Foam glass and its use in Russia. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii*. 2012. No. 5 (13), p. 8. (In Russian).
 8. Minko N.I., Puchka O.V., Evtushenko E.I., Nartsev V.M., Sergeev S.V. Foam glass – a modern effective inorganic thermal insulation material. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013. No. 64, pp. 849–854. (In Russian).
 9. Fedosov S.V., Bakanov M.O., Nikishov S.N. The main principles of the technology for producing heat-insulating foam glass, modeling approaches. *Collection "Effective building composites" Scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of the Honored Scientist of the Russian Federation, Academician of the RAACS, Doctor of Technical Sciences Yury Mikhailovich Bazhenov*. Belgorod. 2015, pp. 690–699. (In Russian).
 10. Qu Y.-N. et al. Lightweight and high-strength glass foams prepared by a novel green spheres hollowing technique. *Ceramics International*. 2016. Vol. 42. Iss. 2, pp. 2370–2377. doi: 10.1016/j.ceramint.2015.10.034
 11. Damdinova D.R., Pavlov V.E., Khardaev P.K., Druzhinin D.K., Vtorushin N.S., Batorova I.Yu. Composition influence on the structure and properties of foam glass using ash and slag waste from thermal power plants. *Nauchnoe obozrenie*. 2016. No. 10, pp. 47–55. (In Russian).
 12. Puchka O.V., Lesovik V.S., Weisser S.S. Use of glass composites for construction in the Arctic. *Intelligent building composites for green building: collection of reports of the international scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of V.S. Lesovik: in 3 parts*. Belgorod. 2016, pp. 29–36. (In Russian).
 13. Grushko I., Skibin G., Druzhinina E. Substantiation and design of compositions of heat-insulating material (foam glass) using recyclable resources. *Stroitel'stvo i tekhnogennaja bezopasnost'*. 2019. No. 15 (67), pp. 87–100. (In Russian).
 14. Lázár M., Hnatko M., Sedláček J., Čarnogurská M., Brestovič T. Upgrading the glassy slag from waste disposal by thermal plasma treatment. *Waste Management*. 2018. Vol. 78, pp. 173–182. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.05.042
 15. Li J., Zhuang X., Querol X., Font O., Moreno N. A review on the applications of coal combustion products in China. *International Geology Review*. 2018. Vol. 60. Iss. 5–6, pp. 671–716. <https://doi.org/10.1080/00206814.2017.1309997>

Главная выставка строительной
техники и технологий в России

24 — 27 мая 2022

Крокус Экспо, Москва



СТТ
EXPO

Бесплатный билет
по промокоду **MPLDAB**

www.ctt-expo.ru



ИТОГИ «РОССИЙСКОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ НЕДЕЛИ-2022»



Results of "Russian Construction Week 2022"



С 1 по 4 марта 2022 г. в ЦВК «Экспоцентр» с успехом прошла «Российская строительная неделя», которая объединила 3-ю Международную специализированную выставку RosBuild 2022, салон «Малозэтажное домостроение» и форум «Строим будущее России вместе».

Проект подтвердил статус востребованного международного мероприятия, направленного на реализацию государственных программ и национальных проектов, программ реновации жилищного фонда, формирование современной городской среды, поддержку малозэтажного домостроения.

Основой экспозиции Недели стала выставка RosBuild 2022, организованная АО «Экспоцентр» при поддержке Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства, Министерства промышленности и торговли, Правительства Москвы, под патронатом Торгово-промышленной палаты России, в партнерстве с Национальным объединением застройщиков жилья (НОЗА), Национальным объединением производителей строительных материалов, изделий и конструкций (НОПСМ), Национальным объединением строителей (НОСТРОЙ), Фасадным союзом, Ассоциацией производителей керамических материалов, Ассоциацией производителей керамических стеновых материалов, Союзом проектировщиков России, Алюминиевой Ассоциацией.

ЭКСПОЗИЦИЯ

В этом году **167 компаний из Австрии, Германии, Греции, Италии, Ирана, Испании, Китая, России, Финляндии** познакомили специалистов и гостей выставки с инновационными решениями и передовыми технологиями в производстве строительных, отделочных материалов и конструкций. Посетители получили исчерпывающую информацию о текущем состоянии строительного рынка и основных трендах архитектуры и дизайна.

Выставку посетили **10 400 человек**.

Общая площадь экспозиции составила **9200 м²**.

В выставке приняли участие компании Bongioanni, Meezenburg, Peikko, Rothoblaas, Schoeck, Viessmann, Ytong, Paroc, Wienerberger, Bonolit, Eurotec, IMG Lighting, Ledtec, Surface

Laboratory by KERAMA MARAZZI, Vodalux, «7 скамеек», НВП «Болид», «ПИК-Модуль», «Русский Запад», «Строймет», «Техноколь», «Ферро-Строй» и др.

Коллективные экспозиции представили три региона: **Омская, Иркутская и Оренбургская области**.

Экспозиция Passive House, организованная Институтом пассивного дома на выставке RosBuild, удвоила количество участников и площадь экспозиции по сравнению с прошлым годом. Энергоэффективную продукцию в рамках единой концепции пассивного дома продемонстрировали 18 компаний. Экспозицию дополнили конференция и семинары, организованные Институтом пассивного дома и АО «Экспоцентр».

Экспозиция **салона «Малозэтажное домостроение»** привлекла внимание профессионалов и частных посетителей выставки, планирующих строительство загородного дома. На площадке выставки RosBuild компания «Балашовские Дома» провела **мастер-класс «Правильный каркасный дом»**, где посетители смогли увидеть все этапы строительства каркасного дома – от возведения стен до утепления и отделки, а специалисты компании подробно консультировали по каждому этапу.

На выставке также работала галерея ТОП ЖК, где были представлены проекты застройщиков – победителей, призеров и финалистов крупнейшего градостроительного конкурса новостроек ТОП ЖК в 155 федеральных и региональных номинациях. Премия ТОП ЖК учреждена в 2019 г. совместно с Национальным объединением застройщиков жилья и профильными комитетами ТПП РФ и РСПП.

Более подробно с информацией об участниках и представленной продукции можно ознакомиться в интернет-каталоге выставки RosBuild 2022 (www.rosbuild-expo.ru)

ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА

Многоплановая деловая программа-форум «Российской строительной недели» под общим названием «**Строим будущее России вместе**» включила 64 мероприятия.

Работу форума открыло пленарное заседание «Развитие жилищного строительства

в Российской Федерации» с участием руководителей строительного комплекса страны, отраслевых ассоциаций и крупных строительных компаний. Организаторы: НОЗА, НОСТРОЙ, НОПСМ, АО «Экспоцентр».

По видеосвязи к участникам обратился заместитель Председателя Правительства РФ **Марат Хуснуллин**. Он подчеркнул актуальность и важность диалога представителей власти и бизнеса по вопросам развития строительной отрасли и, как следствие, повышения уровня жизни граждан. Строительная отрасль, по его мнению, должна продолжать создавать новое вопреки трудностям сегодняшней ситуации.

Участники заседания обсудили ситуацию в отрасли с учетом сегодняшнего положения дел, меры господдержки, ипотечное кредитование, цифровизацию отрасли, проблемы столичного градостроительного комплекса, конкретные шаги для их оперативного решения и другие актуальные вопросы.

По окончании пленарного заседания состоялось награждение победителей ежегодного **градостроительного конкурса жилых комплексов-новостроек «Топ ЖК-2022»**.

НОСТРОЙ, НОЗА и АО «Экспоцентр» организовали **круглый стол «Государственные закупки и ценообразование в строительстве»**. Выступивший на круглом столе президент НОСТРОЙ **Антон Глушков** обратил внимание на проблемы заключения и исполнения государственных контрактов на всех этапах строительных работ.

Параллельно НОСТРОЙ провел **круглый стол «Споры о качестве квартир в новостройках: судебная практика и проблемы правового регулирования»**. Его участники рассмотрели региональную практику работы застройщика по досудебному устранению недостатков нового жилья и предложения профессионального сообщества по совершенствованию законодательства.

В рамках выставки прошли круглые столы, посвященные развитию рынка арендного жилья, «зеленому» жилищному строительству и ЖКХ, потенциалу комплексного развития территорий, финансированию городской инфраструктуры, потребительским качествам новостроек, инструментам стимулирования инвестиционной деятельности





в сфере жилищного строительства, архитектуре жилищного строительства, типовому проектированию в ИЖС, достройке проблемных объектов долевого строительства, основным направлениям развития технического регулирования в строительстве, освоению масштабных свободных территорий и другим актуальным темам.

Большой интерес у профессионального сообщества вызвала V конференция «Малоэтажная Россия-2022», организованная Союзом проектировщиков России, Национальным объединением участников строительной индустрии (НОСИ), Ассоциацией «Национальное объединение застройщиков жилья» (НОЗА), АО «Экспоцентр». Модератором конференции выступил президент НОСИ **Александр Лощенко**.

Актуальность заявленной темы отметил председатель Комитета ТПП РФ по предпринимательству в сфере строительства **Ефим Басин**. Он напомнил, что приняты законодательные акты, которые приравнивают строительство и финансирование индивидуального жилищного строительства к многоэтажному, что действуют все преференции, в том числе и ипотека. Профильный комитет ТПП РФ предложил ряд мер по поддержке малоэтажного строительства, указав на необходимость сохранить льготную ипотеку и разрешать контракты по твердым ценам.

Участники конференции также уделили внимание строительству малоэтажных поселков в Подмосковье, проектированию и строительству деревянных многоэтажных зданий, созданию проектно-технологического кластера в строительной отрасли, пожаробезопасным кровельным технологиям и материалам. Разговор получился конструктивным и полезным.

Отдельной темой деловой программы стала цифровизация в строительстве и управление многоквартирными домами. Национальное объединение организаций в сфере технологий информационного моделирования (НОТИМ), НОЗА и АО «Экспоцентр» провели **круглый стол «Развитие управляемых государством информационных систем**

в градостроительстве». По словам модератора, президента НОТИМ и руководителя Комиссии по цифровизации строительной отрасли Общественного совета при Минстрое России Михаила Викторова, тема цифровизации в каждом из отраслевых объединений сейчас играет ключевую роль, и Минстрой, Росреестр, Минцифры прилагают большие усилия к развитию информационных систем.

На конференции Profitbase и EP3. RF «**Цифровая трансформация девелопмента: вчера, сегодня, завтра**» ведущие эксперты отрасли обсудили опыт цифровой трансформации ведущих компаний, будущее рынка в текущих реалиях и перспективные технологии, влияние санкций на IT-продукты. По их оценкам, самые большие проблемы для отрасли связаны с потенциальным оттоком кадров и ограничением на использование иностранного ПО.

Повышенный интерес у специалистов вызвала конференция «**Управление многоквартирными домами — кейсы для застройщика**», организованная Высшей школой экономики, НОЗА, АО «Экспоцентр». Выступления затронули проблемы, которые может предотвратить застройщик; концепции управления, позволяющие обеспечить заявленный комфорт проживания; управление объектами жилой недвижимости, взаимодействие жильцов с управляющей компанией как средство улучшения продуктовой политики для застройщика и другие полезные вопросы.

Внимание аудитории привлекли: конференция «**Цифровая трансформация девелопмента: вчера, сегодня, завтра**», круглые столы «**ВМ-технологии в строительстве**», «**Умный дом — тренд современного жилья**», «**Цифровизация в кадровом обеспечении строительства**».



Интересные мероприятия организовали Институт пассивного дома и АО «Экспоцентр»: **24-ю международную конференцию «Технологии проектирования и строительства энергоэффективных зданий Passive House» и семинары «Энергоэффективные технологии в строительстве»**.

Применение новых технологий и решений на основе алюминия в строительстве обсудили участники конференции «**Передовые технологии и инновационные материалы на основе алюминия для «зеленой» архитектуры и строительства**», организованной Алюминиевой Ассоциацией и АО «Экспоцентр».

В этот же день прошла конференция «**Взаимодействие застройщика и риелтора: точки роста**», организованная Российской гильдией риелторов, Ассоциацией «Национальное объединение застройщиков жилья» (НОЗА) и АО «Экспоцентр».

Аналитический обзор «**Современные вызовы российского рынка жилья**» представил директор ООО «АЦ «КД-консалтинг», сертифицированный Российской гильдией риелторов аналитик-консультант рынка недвижимости **Алексей Скоробогач**. О трейд-ин для застройщика как гарантированном инструменте увеличения объемов продаж говорили на конференции генеральный директор ЦН «ПРО. КОМПЛЕКС» **Татьяна Копыстырская** и вице-президент Гильдии риелторов Москвы **Андрей Банников**. Участники конференции также обсудили инвестиции в первичную недвижимость, возможности покупки и сроки окупаемости.

В заключительный день были также проведены: конференция «**Тренды и технологии в продажах первичной недвижимости: взгляд риелтора**», тематические круглые столы — «**Постпродажное сопровождение застройщиком жилой новостройки**», «**Деньги в землю. Грамотные инвестиции в участок под строительство**», «**Постпродажное сопровождение застройщиком жилой новостройки**» и ряд других мероприятий.

«**Российская строительная неделя-2022**» прошла эффективно и показала хорошие результаты, о чем свидетельствуют отзывы участников и гостей. Отраслевые специалисты и заинтересованные участники ознакомились с образцами новой продукции, провели удачные переговоры, заключили контракты, обсудили новые вызовы, с которыми столкнулась отрасль, поделились вариантами решений, нашли новых партнеров, запланировали шаги по развитию бизнеса. Неделя стала полезным и важным событием для строительной отрасли.

АО «Экспоцентр» выражает особую благодарность Министерству строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, Министерству промышленности и торговли РФ, профильным союзам и ассоциациям, Торгово-промышленной палате России, а также всем партнерам выставки, компаниям Schneider Electric и Tax&Legal Management за поддержку в организации «**Российской строительной недели-2022**».

4-я Международная выставка RosBuild 2023 пройдет с **28 февраля по 3 марта 2023 г.** в ЦВК «Экспоцентр» в рамках «**Российской строительной недели-2023**».

Пресс-служба АО «Экспоцентр»

Уважаемого коллегу Валерия Ивановича Кондращенко поздравляем с юбилеем!

30 апреля 2022 г. отмечает юбилей наш уважаемый коллега д-р техн. наук Валерий Иванович Кондращенко.

Его научная деятельность, да и вся трудовая жизнь связаны со строительными материалами и присущими им проблемами. Работы Валерия Ивановича неоднократно отмечены государственными и профессиональными наградами. За работу «Создание высокоэффективных и экологически чистых строительных материалов посредством микробного синтеза» Валерий Иванович награжден Большой медалью Российской академии архитектуры и строительных наук. За большой вклад в развитие научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте и в связи с Днем российской науки премирован Приказом министра путей сообщения РФ № 32 от 7 февраля 2000 г., имеет Благодарность и Почетную грамоту министра транспорта РФ за большой личный вклад в подготовку высококвалифицированных специалистов для железнодорожного транспорта.

В.И. Кондращенко выполнены интересные исследования в области теории строительного материаловедения, разработки новых технологий, многие из которых внедрены в производство: налажен выпуск железобетонных шпал с пониженным на 10% расходом арматурной проволоки; с 1995 г. в главном пути уложены конструкции железобетонных шпал со стержневой арматурой; выпущена опытная партия (1000 шт.) композиционных шпал на основе продуктов переработки старогодных деревянных шпал; организован промышленный выпуск экологически чистой смолы для получения древесных композитов для вагоностроения; на Воронежском заводе ЖБК и СД в 2001 г. запущена промышленная установка для получения активатора твердения бетона; для Вологодского завода ЖБК и СД выполнен проект участка по изготовлению биопластиков. В 2002 г. принят передвижной комплекс для производства ремонтных и строительных работ в полевых условиях на железной дороге.

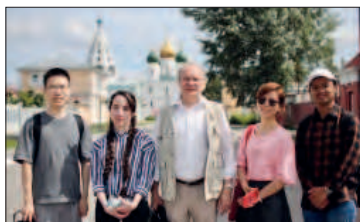
На многочисленных научных и практических мероприятиях коллеги всегда отмечают выступления Валерия Ивановича. Например, в 2021 г. компания РЖД ТВ брала у В.И. Кондращенко интервью, которое продолжалось более четырех часов, однако смотрится оно буквально на одном дыхании, благодаря доходчивому и интересному изложению мыслей, прекрасному чувству юмора.

В.И. Кондращенко – активный участник двух диссертационных советов, созданных на базе ИПСС РУТ (МИИТ), его вопросы и выступления на заседаниях этих советов отличаются глубиной познаний в профессиональной области, помогают диссертантам раскрыть сущность их работ.

В.И. Кондращенко – признанный ученый не только в России, но и за рубежом. Он руководит работой аспирантов из КНР, Вьетнама, неоднократно выступал с лекциями в Пекинском и Ханойском университетах, приглашен для совместного проведения исследований в Китае.

Коллектив Института пути, строительства и сооружений РУТ (МИИТ) сердечно поздравляет Валерия Ивановича с юбилеем и желает ему дальнейших успехов на благо отрасли, новых интересных исследовательских находок, способных учеников и, конечно, здоровья и семейного благополучия.

**С искренним уважением,
директор Института пути, строительства и сооружений РУТ (МИИТ),
д-р техн. наук, профессор, заслуженный работник транспорта
Т.В. Шепитько**

Здравствуйте, дорогой Валерий Иванович!

Я от всей души поздравляю Вас с 70-летним юбилеем. Для меня было большой честью и удовольствием учиться и заниматься научной работой под Вашим руководством.

Желаю Вам хорошего настроения, крепкого здоровья, счастливой семьи и продуктивного сотрудничества с нами!

Вы еще молоды. С учетом развития технологий я уверен, что буду отмечать Ваше 120-летие.

**С уважением, Ваш ученик и коллега
ВАН Чжуан**

Дорогой Валерий Иванович!

От всей души поздравляю Вас с юбилейной датой. Ваш вклад в науку о полимерах трудно переоценить. Я очень рад, что мне удалось вместе с Вами написать несколько книг, причем Вы всегда вносили весомый вклад в эту важную деятельность. Сейчас у нас в плане новая книга, работа над которой ведется полным ходом.

Желаю Вам здоровья и успешного выполнения всех поставленных задач.

**Ваш А.А. Аскадский, д-р хим. наук, профессор,
Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова
Российской академии наук**

**Жажда познания.
К портрету ученого В.И. Кондращенко**

Мой рабочий стол заполнен объемистыми книгами. Вот названия некоторых: «Компьютерное материаловедение полимеров»; «Эффективные железобетонные конструкции»; «Теоретические основы биотехнологии древесных композитов» (в 2 т.); «Структурно-имитационное моделирование макроструктуры ячеистого бетона»; «Синтетические смолы в деревообработке»; «Физико-химия полимерных материалов и методы их исследования»...

Внимание привлекла изданная в 2021 г. книга «Маленькая w», или Исследования сложноструктурированных систем лазерно-интерференционными методами». Чтобы понять, о чем она, даже пришлось покопаться в источниках. Лазерная интерферометрия – известный, но непонятный дилетанту физический метод исследования различного рода материалов и изделий. Применительно к решению задач строительного назначения носит пионерный характер. Язык изложения, представление и оформление материала вызывают одобрение.

У всех этих книг один неперемный соавтор, мой давний коллега и близкий товарищ профессор Валерий Иванович Кондращенко. Его 70-летие мы отмечаем в конце апреля. Видный ученый своими трудами демонстрирует неослабевающую природную любознательность, неординарную разносторонность научных интересов, постоянное стремление к расширению знаний в направлении, которое можно обозначить как композиционное материаловедение. За свою долгую «материаловедческую» жизнь встречать подобного мне не приходилось.

По принципу постижения знаний и формирования научных интересов ученых можно условно разделить на два типа. Первый, к которому, несомненно, относится В.И. Кондращенко, характеризуется всесторонними интересами. Второй тип, куда можно отнести и автора этих строк, целеустремленно идет в одном выбранном научном направлении. Интересны и нужны оба типа.

Валерий Иванович родом из трудового Донбасса. Он получил хорошее образование, уже на студенческой скамье проявил недюжинную тягу к познанию, самообразованию и анализу. На кафедре «Строительные материалы» ХИИТа, организованной создателем известной научной школы строительного материаловедения О.П. Мчедловым-Петросяном, Валерий Иванович занимался проблемой долговечности железобетонных шпал путем оптимизации составов с учетом ползучести бетона в постоянно меняющихся эксплуатационных нагрузочных и температурно-влажностных условиях и блуждающих электрических токов.

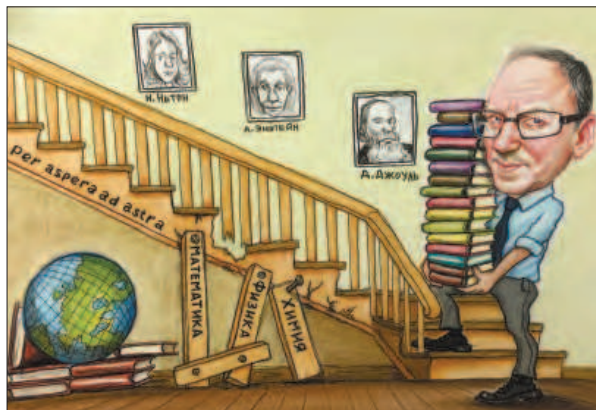
В МИИТе им была подготовлена и защищена под руководством проф. В.И. Соломатова докторская диссертация, посвященная развитию методов компьютерного материаловедения для оптимизации составов и технологических параметров получения строительных материалов транспортного назначения. Впервые в работах обращено внимание к биотехнологическим аспектам в строительном материаловедении. Вырисовались, таким образом, стремления В.И. Кондращенко к объединению в одно целое разнонаправленных задач в рамках «материал – конструкция». Пример их реализации в книге «Древесно-волоконистые композиционные шпалы».

Следует отметить, что Валерий Иванович успешно и с удовольствием работает с иностранными студентами и аспирантами из Китая, Вьетнама, Узбекистана, сотрудничает с зарубежными исследовательскими и учебными институтами.

Несомненно, успехам в научной деятельности юбиляра способствуют традиции семьи. Интересы его супруги Елены Владимировны, д-ра техн. наук, профессора, дочери известного ученого В.И. Бабушкина, лежат в области гипсовых вяжущих. Сын и невестка – высокопрофессиональные IT-специалисты международного уровня.

Итог сказанного выше очевиден. Познание как способ накопления научных знаний и их успешная реализация – суть и смысл жизни и деятельности Валерия Ивановича Кондращенко. С юбилеем, дорогой коллега!

**А.В. Ушеров-Маршак,
д-р техн. наук, профессор**



Сердечно поздравляю дорогого коллегу Валерия Ивановича Кондращенко со знаменательной датой – 70-летием!

Мы знакомы более 20 лет. Валерий Иванович – талантливый ученый, неутомимый труженик, жадный до работы, отдающий себя науке полностью, без остатка. А это очень непросто – всегда быть в первых рядах.

Принципиальный человек, разносторонне эрудированный ученый, один из основоположников компьютерного материаловедения, в частности в области полимеров. Его работы известны не только в России, но и за рубежом, он сотрудничает с Российской академией архитектуры и строительных наук, учеными и научными организациями многих стран мира.

В общении это доброжелательный, отзывчивый, скромный человек. Мы с мужем профессором Валерием Сергеевичем Сысоевым всегда были рады принимать его в нашей семье на даче. Конечно, разговор почти всегда возвращался к науке, к образованию в России, за которые Валерий Иванович болеет душой.

Желаю юбиляру здоровья, благополучия семьи в наше непростое время, успехов в науке, достойных учеников.



**Ю.А. Соколова, академик РААСН,
заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор**



К 70-летию Валерия Ивановича КОНДРАЩЕНКО

30 апреля 2022 г. коллеги и друзья поздравили с 70-летием замечательного человека, известного ученого, д-ра техн. наук, профессора кафедры «Строительные материалы и технологии» Российского университета транспорта (МИИТ), Валерия Ивановича Кондращенко. Он родился на Украине, в г. Макеевка Донецкой области. После окончания средней школы в 1969 г. поступил в Донецкий политехнический институт на строительный факультет, а в 1974 г. с отличием окончил Макеевский инженерно-строительный институт по специальности «Производство строительных изделий и конструкций». Отслужив в армии, Валерий Иванович занялся научными исследованиями в технологической лаборатории легких бетонов Донецкого ПромстройНИИпроекта, где проработал до 1983 г.; параллельно учился заочно в аспирантуре НИИЖБ. Результатом учебы и практической работы стала защита в 1983 г. кандидатской диссертации на тему «Технология и свойства высокопрочного шлакопемзобетона» по двум специальностям (05.23.05 – строительные материалы и изделия и 05.23.01 – строительные конструкции).

В 1983–1992 гг. Валерий Иванович заведовал отраслевой лабораторией технологии изготовления железобетонных шпал Министерства путей сообщения СССР при Харьковском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Следующим этапом стала учеба (1992–1994) у проф. В.И. Соломатова на кафедре «Строительные материалы и технологии» в докторантуре Московского института инженеров железнодорожного транспорта. С этого времени профессиональная деятельность В.И. Кондращенко связана с МИИТом. Он работал на кафедре «Строительные материалы и технологии» и в Отраслевом центре фундаментальных исследований МИИТ, параллельно в период с 1996 по 2005 г. руководил ФГУП Научно-инженерный внедренческий центр «Экологически чистые композиционные материалы для транспорта» (НИВЦ «Композит») при Министерстве путей сообщения России. После защиты в 2005 г. докторской диссертации на тему «Оптимизация составов и технологических параметров получения изделий брускового типа методами компьютерного материаловедения» продолжает работу в должности профессора кафедры «Строительные материалы и технологии» Российского университета транспорта (РУТ – МИИТ).

Более десяти лет (2007–2017) В.И. Кондращенко руководил созданным им Испытательным центром технических средств железнодорожного транспорта для сертификационных испытаний на железнодорожном транспорте.

Круг научных интересов Валерия Ивановича широк, а разработки успешно внедряются в практику транспортного строительства. Им разработана новая методология решения задач строительного материаловедения на основе структурно-имитационного моделирования свойств материалов и технологии их получения; новая концепция назначения рецептуры строительных материалов по комплексу требований, предъявляемых как к материалу изделий, так и к самим конструкциям; биотехнология получения экологически чистых древесных композитов; внедрено производство железобетонных шпал с пониженным (на 10%) расходом арматурной проволоки и композиционных шпал на основе переработки старогодных деревянных шпал и полимерных материалов; организован промышленный выпуск экологически чистой смолы для получения древесных композитов для вагоностроения; разработана технологическая линия по выпуску строительного бруса из древесной щепы. Перспективное направление, разрабатываемое В.И. Кондращенко, – исследование сложноструктурированных систем методами лазерной интерферометрии.

Валерий Иванович автор около 500 научных трудов, в том числе 100 авторских свидетельств и патентов на изобретения, 14 нормативно-технических документов и 15 книг.

Научные достижения Валерия Ивановича Кондращенко высоко оценены научным сообществом: в 1997 г. он награжден Большой медалью Российской академии архитектуры и строительных наук за работу «Создание высокоэффективных и экологически чистых строительных материалов посредством микробного синтеза». Большой его вклад в развитие научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте неоднократно отмечен Министерством транспорта РФ.

Валерий Иванович Кондращенко многие годы сотрудничает с журналом «Строительные материалы», он постоянный автор, строгий, но доброжелательный рецензент и научный консультант.

Редакционный совет, редакция, коллеги и ученики сердечно поздравляют Валерия Ивановича с 70-летием, желают крепкого здоровья, новых научных достижений, благополучия и удачи.

УДК 693

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-54-63>

В.И. КОНДРАЩЕНКО, д-р техн. наук (kondrashchenko@mail.ru)

Российский университет транспорта (127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9)

Интегрированный подход в бетоноведении

Предложен интегрированный подход к решению одной из приоритетных проблем строительного материаловедения – назначению рецептурно-технологических параметров получения материалов с учетом комплекса требований, предъявляемых как к свойствам бетонной смеси и бетона (традиционный дифференцированный подход), так и к свойствам конструкции, для изготовления которой этот материал предназначен (предлагаемый интегрированный подход). На конкретном примере показано отличие в результатах дифференцированного и интегрированного подходов при назначении оптимального состава шлакопемзобетона и с

учетом его работы в железобетонной конструкции. Наиболее эффективно интегрированный подход может быть реализован на основе одного из методов компьютерного материаловедения – метода структурно-имитационного моделирования.

Ключевые слова: технологические факторы, оптимальные составы, дифференцированный и интегрированный подходы в бетоноведении.

Для цитирования: Кондращенко В.И. Интегрированный подход в бетоноведении // *Строительные материалы*. 2022. № 4. С. 54–63. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-54-63>

V.I. KONDRASHCHENKO, Doctor of Sciences (Engineering) (kondrashchenko@mail.ru)
Russian University of Transport (Buil. 9, 9, Obraztsova Street, Moscow, 127994, Russian Federation)

Integrated Approach in Concrete Science

An integrated approach to solving one of the priority problems of building materials science is proposed – appointment of recipe-technological parameters for obtaining materials, taking into account a set of requirements for both the properties of the concrete mix and concrete (traditional differentiated approach), and the properties of the structure for which this material is intended (proposed integrated approach). A specific example shows the difference in the results of differentiated and integrated approaches when assigning the optimal composition of only slag-pumice concrete and taking into account its work in a reinforced concrete structure. The most effectively integrated approach can be implemented on the basis of one of the methods of computer materials science – the method of structural simulation.

Keywords: technological factors, optimal compositions, differentiated and integrated approaches in concrete science.

For citation: Kondrashchenko V.I. Integrated approach in concrete science. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 4, pp. 54–63. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-54-63>

Современные тенденции в строительном материаловедении отличают возросшие требования к качеству сырья, технологии получения строительных композитов и эксплуатационным свойствам получаемых на их основе изделий. В основе этих требований положен принцип устойчивого развития человечества, предполагающий учет интересов как современников, так и последующих поколений. Применительно к строительному материаловедению доминантой такого принципа выступает приоритетное обеспечение экологической эффективности принимаемых решений на всех стадиях жизненного цикла изделия – от воздействия на окружающую среду добычи и использования сырья, технологических процессов и готовой продукции до утилизации последней. Тем самым получение экологически безопасной и в то же время экономичной продукции представляет собой сложную многоцелевую и многопараметрическую задачу, эффективность решения которой определяется применяемой методологией.

В настоящее время в основу такой методологии в науке и технике, в частности в строительстве, положен *дифференцированный* подход, при котором реализуются отдельно технологическая, конструкторская и архитектурная составляющие по созданию строительного объекта (рис. 1). Формирование такой три-

ады и взаимосвязь составляющих ее элементов доказаны многовековой историей строительства, но степень полноты реализации этих связей неравнозначна. Так, достаточно в полной мере и непосредственно достигается взаимопонимание между архитекторами и технологами в выборе применяемых материалов и технологий (цепочка А ↔ Т на рис. 1); с учетом существующих вычислительных возможностей не вызывает принципиальных трудностей в реализации непосредственно взаимных требований архитекторов и конструкторов (цепочка А ↔ К на рис. 1), в то время как связь между технологическими и конструкторскими задачами решается опосредованно (цепочка Т ← — — → К на рис. 1). Последнее объясняется тем, что технологи назначают рецептурно-технологические параметры без непосредственного учета особенностей работы материала в конструкции (ранее «на марку», сейчас «по классу»), а конструкторы проводят расчет изделий по СНиП, учитывая лишь косвенно рецептуру и технологические параметры изготовления изделий. Это приводит к тому, что задачи по оптимизации технологических параметров и конструкций решаются отдельно технологами и конструкторами, чем не обеспечивается эффективность принимаемых решений.

В бетоноведении дифференцированный подход к назначению составов бетона заложен классическими работами Р. Фере, Д. Абрамса, Н.М. Беляева, М. Болемея и И.Г. Малюги. На основе его дальнейшего развития в работах Б.Г. Скрамтаева, Ю.М. Баженова, П.Ф. Шубенкина [1, 2], И.А. Кириенко [3], В.И. Сорокера [4], В.П. Сизова [5], В.Н. Шмигальского [6], И.М. Френкеля [7] и других ученых метод расчетно-экспериментального определения составов бетона на плотных и пористых заполнителях регламентирован в ряде руководств [8, 9]. Дальнейшее его развитие идет по пути уточнения структурных [10] и физико-химических параметров применяемых мате-

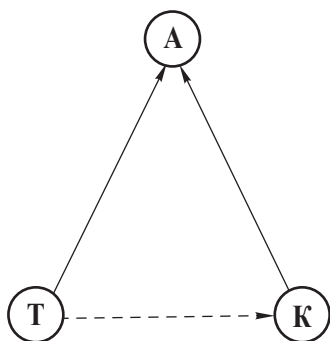


Рис. 1. Триада «Строительство»: взаимосвязь технологической, конструкторской и архитектурной составляющих по созданию строительного объекта

Fig. 2. Triad «Construction»: the relationship of technological, design and architectural components for the creation of a construction object

риалов [11–13], учета неоднородности макроструктурных напряжений в бетоне [14–16], расширения числа учитываемых рецептурных факторов и свойств бетонной смеси и бетона [17–24] и др.

Переход к многопараметрическим (многофакторным) задачам определения составов бетонной смеси отражает современные тенденции развития строительной науки на получение высококачественных композиционных материалов, в частности бетонов (типа *high-performance concrete*) для строительства дорог, гидротехнических сооружений, зимнего бетонирования, строительства в сухом и жарком климате и др. [21, 22, 25, 26, 33–35]. В связи с этим наряду с традиционными показателями в качестве свойств бетонной смеси и бетона рассматриваются показатели нерасслаиваемости бетонной смеси, объема воздухоовлечения, морозостойкости, водонепроницаемости, трещиностойкости и других характеристик материала.

Дальнейшим развитием многопараметрического подхода к определению рецептуры строительных композитов является подход, который в отличие от дифференцированного назовем *интегрированным* подходом.

Интегрированный подход предусматривает проведение оптимизации рецептурно-технологических параметров получения строительных материалов и изделий по комплексу требований, предъявляемых как к свойствам материала и технологическим параметрам их изготовления, так и к свойствам самой конструкции по предельным состояниям первой и второй групп по СНиП 52-01–2003, для изготовления которой этот материал предназначен.

Относительно терминов *дифференцированный* и *интегрированный* отметим, что они используются при моделировании систем [27], управлении в конкурентной среде [28], разработке строительных композитов (интеграционный) [19, 29], оптимизации конструкций [30] и по смыслу являются синонимами к словам соответственно *раздельный* и *комплексный*.

Интегрированный подход отвечает наиболее эффективному решению центральной проблемы строительного материаловедения – получению строительных материалов и изделий с заданным комплексом свойств при минимальных затратах сырьевых и энергетических ресурсов. Такая эффективность может быть достигнута при объединении (интегрировании) технологических и конструкторских оптимизационных задач на основе учета особенностей работы материала в конструкции.

Идея интегрированного подхода была сформулирована и ее целесообразность экспериментально подтверждена в работе [31] применительно к оптимизации составов бетона преднапряженных плит перекрытия на шлакопемзовом заполнителе. Полученный при этом эффект обусловлен тем, что при расчете конструкций из легких бетонов повышение класса бетона сверх установленного расчетом «на марку» вызвано необходимостью обеспечения требуемой жесткости или трещиностойкости изделий. Однако этого можно избежать назначением более высокой прочности на растяжение

или модуля упругости при той же прочности бетона варьированием расходом его составляющих.

Как известно, диапазон изменения свойств легких бетонов при этом достаточно широк. Например, для шлакопемзобетона при фиксированной его прочности при сжатии на мариупольской шлаковой пемзе он достигает для прочности на осевое растяжение ± 14 – 18% ; модуля упругости – ± 6 – 8% ; плотности в сухом состоянии – ± 60 – 110 кг/м³; на липецкой шлаковой пемзе для прочности на растяжение при раскалывании – ± 9 – 16% и средней плотности бетона в сухом состоянии – ± 30 – 75 кг/м³ от их средних значений [31, 32].

Для тяжелого бетона диапазон изменения физико-механических свойств также достаточно обширен, особенно для меры ползучести бетона при сжатии – ее минимальные и максимальные значения отличаются в десятки раз (см. таблицу). В то же время снижение деформаций ползучести тяжелого бетона важно для обеспечения трещиностойкости железобетонных изделий, так как повышенная деформативность бетона приводит к уменьшению уровня натяжения арматуры, что может привести к появлению в них поперечных трещин. Как это следует из таблицы, для обеспечения трещиностойкости железобетонных изделий имеются также значительные резервы повышения прочности бетона на растяжение R_p (от 4 до 7,8 раза) и сопротивления развитию в нем трещин отрыва K_{JC} и сдвига K_{JIC} – до 2,4 раза.

Сложившийся детерминированный и предлагаемый интегрированный подходы показаны на рис. 2 в виде укрупненной блок-схемы оптимизационных задач бетоноведения.

Как видно из рис. 2, результатом решения в традиционной постановке оптимизационных технологических задач (п. 3) является оптимальный состав бетона и/или технологические параметры его получения (п. 6), а конструкторских оптимизационных задач (п. 1 и 2) – оптимальные геометрические размеры, нормируемые СНиП характеристики бетона, арматуры и ее расположение в железобетонной конструкции (п. 8). При интегрированном подходе (п. 4 и 5) определение состава бетона, технологических параметров изготовления и параметров железобетонной конструкции рассматривается как единая задача, результатом решения которой являются не только оптимальный состав и технологические параметры изготовления, но и оптимальные геометрические размеры и армирование железобетонной конструкции (п. 7).

Для корректной постановки и решения оптимизационной задачи необходимо определить целевую функцию, в качестве которой принимается стоимость единицы объема железобетонной конструкции:

$$C_{bc}(x) = \sum c_i + \sum c_l + (\sum T_{ja} c_{ja}) / V_b, \quad (1)$$

где V_b – объем бетона в конструкции, м³; c_i – стоимость i -й ($i = 1, \dots, I$) составляющей бетонной смеси в единице объема бетона, р./м³; c_l – приведенная к 1 м³ бетона стоимость l -го технологического передела ($l = 1, \dots, L$), р./м³; T_{ja} – масса арматуры j -го клас-

Диапазон изменения свойств тяжелого бетона
Range of variation of heavy concrete properties

R_c , МПа	Сжатие [32]				Растяжение [32]				Трещиностойкость [36]				
	$\frac{C_{max}}{C_{min}}$	$\frac{\varepsilon_{max}}{\varepsilon_{min}}$	$\frac{E_{max}}{E_{min}}$	$\frac{R_p^{max}}{R_p^{min}}$	$\frac{E_p^{max}}{E_p^{min}}$	$\frac{R_p^{max}}{R_p^{min}}$	$\frac{E_p^{max}}{E_p^{min}}$	$\frac{C_p^{max}}{C_p^{min}}$	$\frac{K_{JC}^{max}}{K_{JC}^{min}}$	$\frac{C_p^{max}}{C_p^{min}}$	$\frac{K_{JC}^{max}}{K_{JC}^{min}}$	$\frac{K_{JC}^{max}}{K_{JC}^{min}}$	$\frac{K_{JC}^{max}}{K_{JC}^{min}}$
15	$2,8 \cdot 10^{-5}$; $3 \cdot 10^{-7}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$; $2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^3$; $1,3 \cdot 10^3$	1,72; 0,26	$4,1 \cdot 10^3$; $1,5 \cdot 10^3$	6,6	2,7	$2,9 \cdot 10^{-5}$; $2,6 \cdot 10^{-6}$	11	0,58; 0,5	1,2	16,8; 15,8	1,1
20	$2,4 \cdot 10^{-5}$; $9,7 \cdot 10^{-7}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$; $9,3 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^3$; $1,5 \cdot 10^3$	2,13; 0,39	$4,5 \cdot 10^3$; $1,7 \cdot 10^3$	5,5	2,6	$2,3 \cdot 10^{-5}$; $2,8 \cdot 10^{-6}$	8	0,62; 0,3	2,1	17; 12,1	1,4
25	$1,9 \cdot 10^{-5}$; $5,3 \cdot 10^{-7}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$; $8,2 \cdot 10^{-5}$	$3,6 \cdot 10^3$; $1,8 \cdot 10^3$	2,48; 0,32	$4,8 \cdot 10^3$; $2 \cdot 10^3$	7,8	2,4	$2,2 \cdot 10^{-5}$; $2,9 \cdot 10^{-6}$	7	0,62; 0,35	1,8	16; 9,2	1,7
30	$1 \cdot 10^{-5}$; $2,1 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$; $1,2 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^3$; $3,4 \cdot 10^3$	3,44; 0,87	$5,5 \cdot 10^3$; $2,4 \cdot 10^3$	4	2,3	$1,3 \cdot 10^{-5}$; $3,8 \cdot 10^{-6}$	4	0,66; 0,41	1,6	16,6; 7	2,4

Примечание. R и R_p – прочность при сжатии и растяжении, МПа; C и C_p – то же меры ползучести, (кг/см²)⁻¹; E и E_p – то же модули упругости, МПа; ε – относительные деформации ползучести, отн. ед.; K_{JC} и K_{JC} – критические КИН при нормальном отрыве и плоском сдвиге, МН/м^{3/2}.

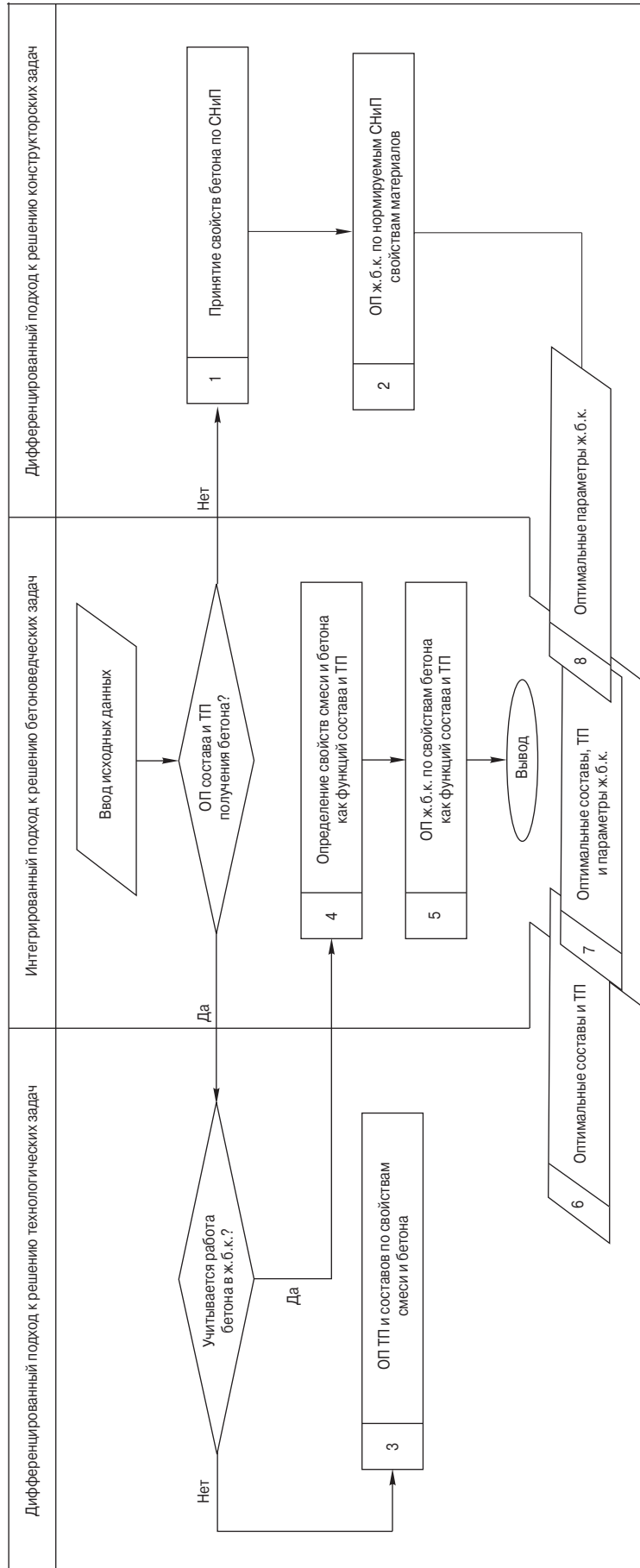


Рис. 2. Оптимизационные задачи бетоноведения; ТП – технологические параметры; ж.б.к. – железобетонная конструкция; ОП – оптимизация
Fig.2. Optimization tasks of concrete science. ТП – process parameters; ж.б.к. – reinforced concrete structure; ОП – optimization

са ($j = 1, \dots, J$) в изделии, t ; c_{ja} – стоимость единицы массы арматуры j -го класса, р./т; x – варьируемые параметры (в формуле (1) и далее в символе Σ индексы суммирования опущены).

Особенности методологии интегрированного подхода рассмотрим на примере оптимизации составов бетона железобетонных конструкций без учета технологических особенностей их изготовления, т. е. при решении только рецептурной задачи. Тогда вклад технологических затрат в (1) будет постоянен и его можно не учитывать при вариантном проектировании состава бетона, а целевая функция $C_{bc}(x)$ будет представлять собой стоимость единицы объема железобетонной конструкции:

$$C_{bc}(x) = \Sigma c_i + (\Sigma T_{ja} c_{ja})/V_b. \quad (2)$$

Задачу оптимизации состава бетона с учетом требований, предъявляемых как к свойствам растворной смеси (например, по подвижности, нерасслаиваемости, объему межзерновых пустот и др.) и бетону (например, по средней плотности, прочности, морозостойкости и др.), так и к железобетонной конструкции, для изготовления которой этот бетон предназначен (например, по прочности, жесткости, трещиностойкости и др.), сформулируем следующим образом: найти расходы составляющих бетонной смеси x_i , при которых обеспечивается минимальная стоимость материалов в единице объема железобетонной конструкции $C_{bc}(x)$ и выполняются требования, предъявляемые как к свойствам бетонной смеси и бетона, так и к конструкции из этого бетона, или, в математической постановке:

найти значения $x(x_1, \dots, x_J), \quad (3)$

при которых $C_{bc}(x) \Rightarrow \min \quad (4)$

и одновременно выполняются требования, предъявляемые к:

– свойствам бетонной смеси и бетона:

$$\Phi_{mb}(x_i) \mathcal{H}[\Phi_{mb}(x_i)]; \quad (5)$$

– свойствам железобетонных конструкций:

$$\Phi_c(x_i, x_p, x_j) \mathcal{H}[\Phi_c(x_i, x_p, x_j)]; \quad (6)$$

– расходам составляющих бетонной смеси:

$$x_i \mathcal{H}[x_i]; \quad (7)$$

– размерам конструкции:

$$x_p \mathcal{H}[x_p]; \quad (8)$$

– армированию конструкции:

$$x_j \mathcal{H}[x_j], \quad (9)$$

где x_i – варьируемые параметры, представляющие собой расходы составляющих бетонной смеси в 1 м^3 бетона; x_p и x_j – то же, характеризующие соответственно размеры и армирование конструкции; $\Phi_{mb}(x_i)$ – функции отклика, представляющие собой свойства бетонной смеси и бетона, зависящие от составляющих бетонной смеси x_i ; $\Phi_c(x_i, x_p, x_j)$ – то же, являющиеся свойствами конструкции и зависящие от составляющих бетонной смеси x_i , ее размеров x_p и армирования x_j ;

$[\Phi_{mb}(x_i)]$, $[\Phi_c(x_i, x_p, x_j)]$ – допустимые значения функций отклика $\Phi_{mb}(x_i)$ и $\Phi_c(x_i, x_p, x_j)$; $[x_i]$, $[x_p]$ и $[x_j]$ – то же варьируемых параметров x_i , x_p и x_j ; символ \mathcal{H} обозначает знаки $<$, $=$, $>$, \leq или \geq , используемые при составлении одно- (например, вида $x_i \geq [x_i]$) и двусторонних (например, вида $[x_i] \leq x_i \leq [x_i]$) ограничений.

Решение задачи оптимизации состава бетона в приведенной выше формулировке может быть получено различными методами, например на основе принципа разделения переменных параметров [37]. В соответствии с этим принципом из всех варьируемых параметров x , от которых зависит целевая функция $C_{bc}(x)$, выделим переменные параметры, определяющие состав бетонной смеси x_1, \dots, x_I , размеры железобетонной конструкции x_{I+1}, \dots, x_P и характеристики ее армирования x_{P+1}, \dots, x_J . Далее переменные параметры, характеризующие состав бетонной смеси x_i , отнесем к 1-й группе, размеры конструкции x_p – ко 2-й группе внешних переменных параметров, а параметры, характеризующие армирование изделия x_j – к группе внутренних переменных параметров.

В свою очередь, для допустимых значений свойств бетонной смеси, бетона и конструкции также выделяют внешние (5) и (7) ограничения, содержащие только внешние переменные параметры x_i , и внутренние (6), (8) и (9) ограничения, содержащие внешние x_p и внутренние или только внутренние переменные параметры x_j . Тогда поиск значений переменных x , обеспечивающих достижение целевой функцией $C_{bc}(x)$ минимального значения, будет представлять собой процесс оптимизации, а полученный при этом результат будет решением внутренней задачи оптимизации, если оптимизация проводится при фиксированных внешних переменных параметрах, и решением внешней задачи оптимизации, если внешние и внутренние или только внешние переменные параметры могут изменяться.

Внешнюю задачу оптимизации решают проведением опытов, каждый из которых включает фиксирование внешних переменных параметров, проверку внешних ограничений, решение внутренней задачи оптимизации и вычисление целевой функции. Опыты отличаются значениями внешних переменных параметров, которые изменяют от опыта к опыту в соответствии с определенным правилом – алгоритмом. Решение внутренней задачи оптимизации при этом сводится к расчету железобетонной конструкции по СП 63.13330.2018 на бетонные и железобетонные конструкции при фиксированных внешних переменных параметрах.

В соответствии с блок-схемой, приведенной на рис. 3, будем различать следующие задачи оптимизации составов бетона железобетонных конструкций:

– *задача 1*: варьируют только 1-ю группу внешних переменных параметров x_i ; такая ситуация возникает при традиционном («с позиций технологов») решении рецептурной задачи «на марку», т. е. с учетом требований, предъявляемых только к свойствам бетонной смеси и бетона (п. 5 на рис. 2);

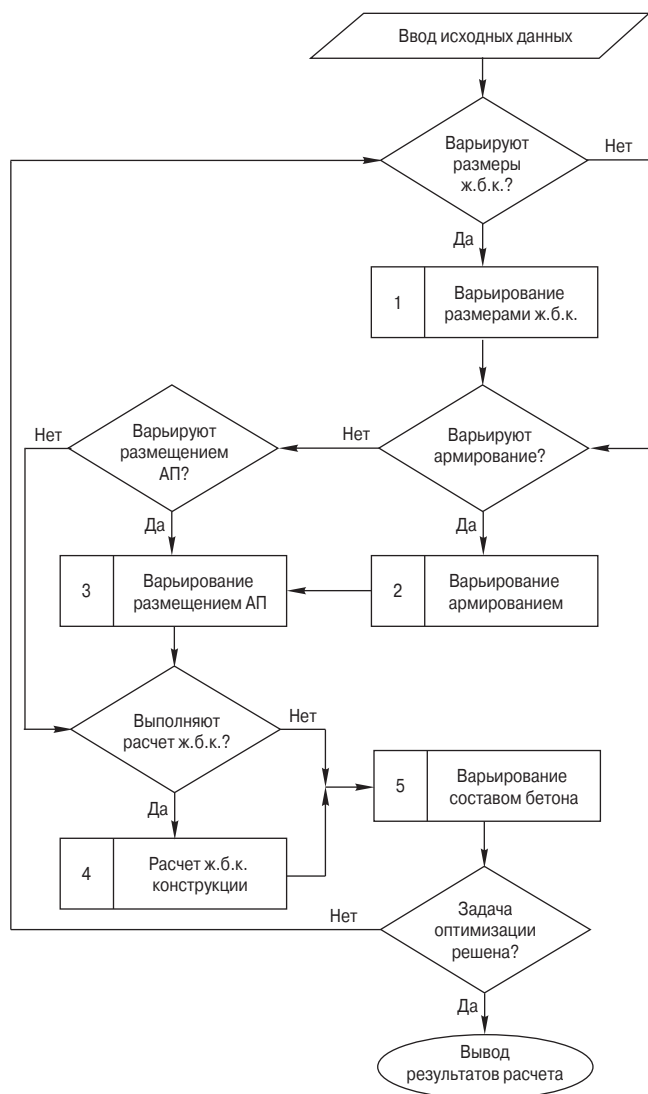


Рис. 3. Блок-схема решения задачи оптимизации состава бетона железобетонных конструкций: АП – арматурный пакет; ж.б.к. – железобетонная конструкция

Fig. 3. Block diagram of the solution to the problem of optimizing the concrete composition of reinforced concrete structures. АП – reinforcement package; ж.б.к. – reinforced concrete structure

– задача 2: варьируют 1-ю группу внешних переменных параметров x_i при фиксированных размерах конструкции x_p и ее армировании x_j ; в этом случае состав бетона оптимизируют для типовой конструкции, размеры и армирование которой не изменяются (п. 4, 5);

– задача 3: варьируют как 1-ю, так и 2-ю группы внешних переменных параметров x_i и x_p при фиксированном армировании конструкции x_j ; такая ситуация возникает, например, при повышении несущей способности конструкции за счет изменения ее размеров (п. 3–5);

– задача 4: варьируют внешние (состав) x_i и внутренние (армирование) x_j переменные параметры при фиксированных размерах конструкции x_p ; в этом случае наряду с оптимизацией состава бетона проводится и оптимизация армирования конструкции (п. 2–5);

– задача 5: варьируют как внешние x_i и x_p , так и внутренние переменные параметры x_j ; такая поста-

новка задачи возникает в общем случае интегрированного подхода к оптимизации расходов составляющих бетона x_i (п. 1–5).

Процедура решения задач 1–5 заключается в проведении опытов. В первом опыте присваивают (случайным образом или на основании имеющегося опыта) значения 1-й группе внешних переменных параметров x_i^* и проверяют выполнение внешних ограничений (7); далее вычисляют значения функций отклика $\Phi_{mb}(x_i^*)$ – свойств бетонной смеси и бетона, и проверяют выполнение внешних ограничений (5). Затем присваивают фиксированные значения 2-й группе внешних переменных параметров x_p^* , проверяют условие выполнения внешних ограничений (8) и решают внутреннюю задачу оптимизации: по СП 63.13330.2018 рассчитывают железобетонную конструкцию и, определив параметры x_j , характеризующие армирование изделия, проверяют выполнение ограничений (6), (9) и вычисляют значение целевой функции $C_{bc}(x)$. При этом если ограничения (5)–(9) не выполняются, то переменным параметрам присваивают новые значения и их перебор продолжают до завершения опыта.

Опыты повторяют необходимое число раз, которое зависит, при прочих равных условиях, от принятого метода оптимизации целевой функции $C_{bc}(x)$. Например, при использовании метода деформируемого многогранника каждая реализация опыта представляет в пространстве переменных параметров x вершину многогранника, число вершин которого n должно на единицу превышать число варьируемых параметров, т. е. $n=(I+P+J)+1$. Результаты опытов с начальными фиксированными значениями варьируемых переменных x^* формируют вершины исходного многогранника. В дальнейшем первоначально сформированный многогранник видоизменяют [38].

Применительно к сформулированной оптимизационной задаче (3)–(9) алгоритм трансформирования исходного многогранника состоит в вычислении целевой функции в его вершинах и последующей замене вершины, в которой целевая функция $C_{bc}(x)$ принимает максимальное значение $C_{bc}(x^*)_{max}$, на вершину с минимальным ее значением $C_{bc}(x^*)_{min}$. Алгоритм заканчивает работу, если многогранник, полученный на некотором k -м шаге, совпадает с многогранником, полученным на предыдущем шаге алгоритма, или вырождается в точку. Вычисленные при этом значения расходов составляющих бетона x_i^k , а также x_p^k и x_j^k в вершине многогранника с минимальной величиной $C_{bc}(x^k)_{min}$ являются оптимальными.

Для практической реализации описанного или иных методов оптимизации существует проблема адекватного представления функций отклика $\Phi_{mb}(x_i)$ – свойств бетонной смеси и бетона (для функций отклика $\Phi_c(x_i, x_p, x_j)$ – прочности, жесткости и трещиностойкости конструкций нет принципиальных трудностей, так как их определяют расчетом по СП 63.13330.2018) в зависимости от расхода составляющих бетона x_i . Такое представление может быть вы-

полнено с использованием экспериментально-статистических моделей, полученных методами планирования эксперимента или регрессионного анализа [39].

Сравнительную оценку дифференцированного и интегрированного подходов выполним на примере оптимизации составов высокопрочного шлакопемзобетона. Экспериментально установлено, что имеется достаточно широкий диапазон изменения свойств такого бетона при варьировании расходом составляющих, который достигает для прочности на осевое растяжение 36%, начального модуля упругости 16%, средней плотности в сухом состоянии 220 кг/м³ при фиксированной прочности бетона при сжатии [40]. При интегрированном подходе к оптимизации составов высокопрочного шлакопемзобетона это позволяет избежать повышения прочности бетона на сжатие при необеспечении жесткости и/или трещиностойкости железобетонной конструкции за счет повышения прочности на растяжение и/или модуля упругости бетона варьированием его состава.

При подборе состава такого бетона «на марку» был получен оптимальный состав с расходом цемента 380 кг в 1 м³ бетонной смеси, а с учетом работы бетона той же прочности на сжатие в плите перекрытия ПК 4.5-88.12, рассчитываемой из условия обеспечения ее жесткости, — с большим на 5,8% расходом цемента, составившим 402 кг [40]. Различие в расходах цемента обусловлено необходимостью получения бетона повышенной упругости для обеспечения требуемой жесткости плиты перекрытия. Если же учитывать длительные деформации, то даже для такого хрупкого материала, как бетон, следует ожидать еще большего различия в расходе его составляющих при рассмотрении работы материала в конструкции.

В заключение отметим, что идея назначения составов бетона по комплексу требований, предъявляемых не только к свойствам бетонной смеси, технологическим параметрам изготовления железобетонных изделий, свойствам бетона, но и конструкций, была, по-видимому, впервые не только сформулирована, дано методическое обоснование путей ее решения, но и практически реализована в работе [40]. В дальнейшем идея объединения задач строительного материаловедения и строительных конструкций была сформулирована в виде интегрированного подхода к решению оптимизационных задач бетоноведения [41].

Несколько в ином аспекте проблема интегрированного подхода затронута в работе [42], в которой оптимизация материала рассматривается в соответствии с силовой схемой конструкции. Поэтому, например, для фибробетона размеры фибры, ее форма, концентрация и расположение должны изменяться в сечении конструкции согласно силовому расчету. Напряженное состояние конструкции и будет опре-

Список литературы

1. Скрамтаев Б.Г., Шубенкин П.Ф., Баженов Ю.М. Способы определения состава бетона различных видов. М.: Стройиздат, 1966. 159 с.

делять «интегрированный материал» с переменным модулем деформаций по сечению изделия [42].

Термин *интегрированный* может относиться как к объединению задач из одной или нескольких научных областей в некую «надзадачу», так и к объединению методов их решения в некий универсальный «надметод». Применительно к строительству объединение задач может выполняться на уровне критерия оптимальности для отдельной конструкции, фрагментов здания или сооружения в целом. Относительно выбора универсального метода ситуация менее определенная из-за чрезвычайно сложной структуры материала и разнообразия механизмов ее формирования на различных уровнях организации материи. Однако можно предположить, что выработка такой объединительной методики лежит на пути применения вычислительной техники, вычислительного эксперимента, развития информационных технологий и методов компьютерного материаловедения.

Одним из многообещающих направлений в компьютерном материаловедении, позволяющим подойти к решению задач бетоноведения на основе интегрированного подхода, является метод структурно-имитационного моделирования — *СИМ*-метод и технология проведения имитационных экспериментов — *СИМ*-технология [43]. Под *СИМ*-методом подразумевается процесс формирования на ЭВМ информации об отдельных структурных элементах моделируемой системы (материала и/или технологии) и условиях их взаимодействия с последующим воспроизведением на ЭВМ протекающих в системе процессов при изменении внешних воздействий, в то время как *СИМ*-технология предусматривает ряд этапов по проведению вычислительного эксперимента, таких как постановка задачи, описание концептуальной модели, написание и отладка программы, проверка достоверности модели и некоторые другие процедуры. По-видимому, имеется достаточно оснований для принятия *СИМ*-метода как мощного и эффективного средства решения материаловедческих задач и в случае интегрированного подхода в бетоноведении [44–46].

References

1. Skramtaev B.G., Shubenkin P.F., Bazhenov Ju.M. Sposoby opredeleniya sostava betona razlichnyh vidov [Methods for determination of concrete composition of different types]. Moscow. Stroyizdat. 1966. 159 p.
2. Bazhenov Ju.M. Sposoby opredeleniya sostava betona razlichnyh vidov [Methods for determination of concrete composition of different types]. Moscow. Stroyizdat. 1975. 272 p.
3. Kirienko I.A. Raschet sostava vysokoprochnyh i obychnyh betonov i rastvorov [Calculation of the composition of high-strength and conventional concretes and mortars]. Kiev. Gosstroyizdat. 1961. 145 p.
4. Soroker V.I. Proizvodstvennye raschety sostava betona [Production calculations of concrete composition]. Moscow. Stroyizdat. 1933. 235 p.

2. Баженов Ю.М. Способы определения состава бетона различных видов. М.: Стройиздат, 1975. 272 с.
3. Кириенко И.А. Расчет состава высокопрочных и обычных бетонов и растворов. Киев: Госстройиздат, 1961. 145 с.
4. Сорокер В.И. Производственные расчеты состава бетона. М.: Стройиздат, 1933. 235 с.
5. Сизов В.П. Рациональный подбор составов тяжелого бетона. М.: Стройиздат, 1995. 174 с.
6. Шмигальский В.Н. Оптимизация составов цементобетонов. Кишинев: Штиинца, 1981. 123 с.
7. Френкель И.М. Основы технологии тяжелого бетона. М.: Стройиздат, 1966. 223 с.
8. Руководство по подбору составов тяжелого бетона. М.: Стройиздат, 1979. 102 с.
9. Руководство по подбору составов конструктивных легких бетонов на пористых заполнителях. М.: Стройиздат, 1974. 54 с.
10. Рыбьев И.А., Сулейманов Ф.Г. Оптимизация состава бетона на основе теории ИСК с применением ЭВМ. М.: ВЗИСИ, 1989. 110 с.
11. Шеин В.И. Физико-химические основы оптимизации технологии бетона / Под ред. О.П. Мchedlova-Petrosyana. М.: Стройиздат, 1977. 272 с.
12. Пунагін В.М., Савін Л.С., Хасанов Б.В., Шишкін О.О. Фізико-аналітичний метод проектування складів бетону. Дніпропетровськ: НВО «Захист», 1994. 154 с.
13. Бабушкин В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1968. 187 с.
14. Зазимко В.Г. Оптимизация свойств строительных материалов: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. М.: Транспорт, 1981. 103 с.
15. Гусев Б.В. Напряженно-деформированное состояние полидисперсного композиционного материала, типа цементного бетона. *Труды Международной научно-практической конференции: Наука и технология силикатных материалов – настоящее и будущее*. Т. 1. М.: РХТУ, 2003. С. 71–91.
16. Чернышов Е.М., Дьяченко Е.И., Макеев А.И. Неоднородность строения и закономерности формирования поля внутренних напряжений при силовом нагружении строительных композитов // *Вестник РААСН*. 2000. № 3. С. 184–193.
17. Баженов Ю.М., Вознесенский В.А. Перспективы применения математических методов в технологии сборного железобетона. М.: Стройиздат, 1974. 192 с.
18. Дворкин Л.И., Шамбан И.Б. Многофакторное прогнозирование свойств и проектирование составов бетона. М.: Стройиздат, 1992. 132 с.
19. Ляшенко Т.В. Поля свойств строительных материалов (концепция, анализ, оптимизация): Дис. ... д-ра техн. наук. Одесса, 2003. 185 с.
5. Sizov V.P. Rational'nyj podbor sostavov tjazhelogo betona [Rational selection of heavy concrete compositions]. Moscow. Stroyizdat. 1995. 174 p.
6. Shmigal'skij V.N. Optimizacija sostavov cementobetonov [Optimization of cement concrete compositions]. Kishinev: Shtiinca. 1981. 123 p.
7. Frenkel' I.M. Osnovy tehnologii tjazhelogo betona [Basics of heavy concrete technology]. Moscow. Stroyizdat. 1966. 223 p.
8. Rukovodstvo po podboru sostavov tyazhelogo beton [Heavy concrete composition selection guide]. Moscow. Stroyizdat. 1979. 102 p.
9. Rukovodstvo po podboru sostavov konstruktivnykh legkikh betonov na poristyx zapolnitelyakh [Guidelines for selection of structural light concrete compositions on porous aggregates]. Moscow. Stroyizdat. 1974. 54 p.
10. Ryb'ev I.A., Sulejmanov F.G. Optimizacija sostava betona na osnove teorii ISK s primeneniem JeVM [Optimization of concrete composition based on ISS theory using computers]. Moscow. VZISI. 1989. 110 p.
11. Shein V.I. Fiziko-himicheskie osnovy optimizacii tehnologii betona. Pod red Mchedlova-Petrosyana. [Physical and chemical bases of concrete technology optimization. Edited by O.P. Mchedlov-Petrosyan]. Moscow. Stroyizdat. 1977. 272 p.
12. Punagin V.M., Savin L.S., Hasanov B.V., Shishkin O.O. Fiziko-analiticheskiy metod proektuvannja sostava betona [Physical and analytical method of concrete composition design]. Dnepropetrovsk. NVO "Zakhist". 1994. 154 p.
13. Babushkin V.I. Fiziko-himicheskie processy korrozii betona i zhelezobetona [Physical and chemical processes of concrete and reinforced concrete corrosion]. Moscow. Stroyizdat. 1968. 187 p.
14. Zazimko V.G. Optimizacija svojstv stroitel'nyh materialov [Optimization of building materials properties]. Moscow. Transport. 1981. 103 p.
15. Gusev B.V. Stress-strain state of a polydisperse composite material, such as cement concrete. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: Science and technology of silicate materials – the present and the future*. Vol. 1. Moscow. Mendeleev University. 2003, pp. 71–91. (In Russian).
16. Chernyshov E.M., D'jachenko E.I., Makeev A.I. Heterogeneity of structure and regularity of formation of internal stress field during force loading of construction composites. *Vestnik RAACS*. 2000. No. 3, pp. 184–193. (In Russian).
17. Bazhenov Ju.M., Voznesenskiy V.A. Perspektivy primenenija matematicheskikh metodov v tehnologii sbornogo zhelezobetona [Prospects for application of mathematical methods in precast concrete technology]. Moscow. Stroyizdat. 1974. 192 p.
18. Dvorkin L.I., Shamban I.B. Mnogofaktornoe prognozirovanie svojstv i proektirovanie sostavov betona [Multivariate property prediction and concrete composition design]. Moscow. Stroyizdat. 1992. 132 p.
19. Lyashenko T.V. Fields of properties of building materials (concept, analysis, optimization). Diss... Doctor of Sciences (Engineering). Odessa. 2003. 185 p. (In Russian).

20. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика, 1981. 263 с.
21. Дворкин Л.И. Оптимальное проектирование составов бетона. Львов: Вища школа, 1981. 159 с.
22. Дворкин О.Л. Проектирование составов бетона (основы теории и методологии). Ровно: УДУВГП, 2003. 266 с.
23. Файнер М.Ш. Введение в математическое моделирование технологии бетона. Львов: Світ, 1993. 240 с.
24. Сторк Ю. Теория состава бетонной смеси. Л.: Стройиздат, 1971. 238 с.
25. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. М.: Стройиздат, 1975. 700 с.
26. Пунагін В.М., Пшінько О.М., Руденко Н.М. Призначення складів гідротехнічного бетону. Дніпропетровськ: Арт-Прес, 1998. 213 с.
27. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. М.: Высшая школа. 1998. 319 с.
28. Prastacos G., Soderquist K., Spanos Y., Wassenhove L. An integrated framework for managing change in the new competitive landscape // *European Management Journal*. 2002. Vol. 20. Iss. 1, pp. 55–71. [https://doi.org/10.1016/S0263-2373\(01\)00114-1](https://doi.org/10.1016/S0263-2373(01)00114-1)
29. Грызлов В.С., Демидов С.В. Информационно-физические аспекты макроструктурообразования бетона // *Известия вузов. Строительство*. 2000. № 7–8. С. 39–42.
30. Бондаренко В.М., Ивахнюк В.А., Колчунов В.И., Юрьев А.Г. Оптимизация материала конструкции // *Вестник РААСН*. 2000. № 3. С. 23–25.
31. Кондращенко В.И. Применение методов оптимизации составов бетона с целью повышения эффективности железобетонных изделий. Харьков: ХИИТ, 1990. 189 с.
32. Львовский Е.Н., Бордеяну Г.В. Экспериментально-статистические исследования деформаций ползучести заводского бетона с построением математических моделей второго порядка для их вычисления и прогнозирования. В кн.: Прочность, деформативность и устойчивость строительных конструкций. Кишинев: Штиинца, 1977. С. 3–11.
33. Hassan A., Jones S. Non-destructive testing of ultra high performance fibre reinforced concrete (UHPC): A feasibility study for using ultrasonic and resonant frequency testing techniques // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 35, pp. 361–367. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.04.047
34. Kim K.Y., Yun T.S., Choo J., Kang D.H., Shin H.S. Determination of air-void parameters of hardened cement-based materials using X-ray computed tomography // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 37, pp. 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.012>
20. Voznesenskiy V.A. Statisticheskie metody planirovaniya jeksperimenta v tehniko-jekonomicheskikh issledovaniyah [Statistical methods for experimental planning in feasibility studies]. Moscow. Finansy i statistika. 1981. 263 p.
21. Dvorkin L.I. Optimal'noe proektirovanie sostavov betona [Optimal design of concrete compositions]. L'vov. Vishha shkola. 1981. 159 p.
22. Dvorkin O.L. Proektirovanie sostavov betona (osnovy teorii i metodologii) [Concrete composition design (basis of theory and methodology)]. Rovno: UDUVGP. 2003. 266 p.
23. Fajner M.Sh. Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie tehnologii betona [Introduction to mathematical modeling of concrete technology]. L'vov. Svit. 1993. 240 p.
24. Stork Ju. Teorija sostava betonnoj smesi [Concrete mix composition theory]. Leningrad. Stroyizdat. 1971. 238 p.
25. Mironov S.A. Teorija i metody zimnego betonirovaniya [Theory and methods of winter concreting]. Moscow. Stroyizdat. 1975. 700 p.
26. Punagin V.M., Pshinko O.M., Rudenko N.M. Assignment of hydraulic concrete warehouses. Dnipropetrovsk. Art-Press. 1998. 213 p. (In Ukrainian).
27. Sovetov B.Ja., Jakovlev S.A. Modelirovanie sistem [Systems Modeling]. Moscow. Vysshaja shkola. 1998. 319 p.
28. Prastacos G., Soderquist K., Spanos Y., Wassenhove L. An integrated framework for managing change in the new competitive landscape. *European Management Journal*. 2002. Vol. 20. Iss. 1, pp. 55–71. [https://doi.org/10.1016/S0263-2373\(01\)00114-1](https://doi.org/10.1016/S0263-2373(01)00114-1)
29. Gryzlov V.S., Demidov S.V. Information-physical aspects of macrostructure formation of concrete. *Izvtstiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2000. No. 7–8, pp. 39–42. (In Russian).
30. Bondarenko V.M., Ivahnjuk V.A., Kolchunov V.I., Jur'ev A.G. Optimization of the material of construction. *Vestnik RAACS*. 2000. No. 3, pp. 23–25. (In Russian).
31. Kondrashhenko V.I. Primenenie metodov optimizacii sostavov betona s cel'ju povyshenija jeffektivnosti zhelezobetonnyh izdelij [Application of methods for optimizing concrete compositions in order to increase the efficiency of reinforced concrete products]. Harkov. HIIT. 1990. 189 p.
32. L'vovskij E.N., Bordejenu G.V. Jeksperimental'no-statisticheskie issledovaniya deformatsij polzuchesti zavodskogo betona s postroeniem matematicheskikh modelej drugogo porjadka dlja ih vychislenija i prognozirovaniya. V kn.: Prochnost', deformativnost' i ustojchivost' stroitel'nyh konstrukcij [Experimental-statistical studies of creep deformations of factory concrete with the construction of mathematical models of the second order for their calculation and prediction. In the book: Strength, deformability and stability of building structures]. Kishinev. Shtiinca. 1977, pp. 3–11.
33. Hassan A., Jones S. Non-destructive testing of ultra high performance fibre reinforced concrete (UHPC): A feasibility study for using ultrasonic and resonant frequency testing techniques. *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 35, pp. 361–367. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.04.047

35. Łazniewska-Piekarczyk B. The type of air-entraining and viscosity modifying admixtures and porosity and frost durability of high performance self-compacting concrete // *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 40, pp. 659–671. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.11.032
36. Пирадов К.А., Мамаев Т.Л., Кожабеков Т.А., Марченко С.М. Физико-механические, силовые, энергетические и структуроформирующие параметры бетона // *Бетон и железобетон*. 2002. № 2. С. 10–12.
37. Краковский М.Б. Методы оптимизации железобетонных конструкций на основе принципа разделения параметров: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: НИИЖБ, 1980. 49 с.
38. Рыков А.С. Поисковая оптимизация. Методы деформируемых конфигураций. М.: Физматлит, 1993. 216 с. (С. 146–153).
39. Ляшенко Т.В., Вознесенский В.А. Методология рецептурно-технологических полей в компьютерном строительном материаловедении. Одесса: Асропринт, 2017. 168 с.
40. Кондращенко В.И. Технология и свойства высокопрочного шлакопемзобетона: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: НИИЖБ, 1982. 25 с.
41. Кондращенко В.И. Интегрированный подход к оптимизации составов материалов строительных конструкций. *Труды Международной научно-практической конференции: Наука и технология силикатных материалов – настоящее и будущее*. Т. V. М.: РХТУ, 2003. С. 123–128.
42. Бондаренко В.М., Ивахнюк В.А., Колчунов В.И., Юрьев А.Г. Оптимизация материалов конструкции // *Вестник отделения строительных наук РААСН*. 2000. Вып. 3. С. 23–25.
43. Кондращенко В.И. Оптимизация составов и технологических параметров получения изделий брускового типа методами компьютерного материаловедения: Дис. ... д-ра техн. наук. М., 2005. 551 с.
44. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушения. М.: Стройиздат, 1982. 196 с.
45. Баженов Ю.М., Воробьев В.А., Илюхин А.В. Компьютерное материаловедение строительных композитных материалов. Состояние и перспективы развития // *Известия вузов. Строительство*. 1999. № 11. С. 25–28.
46. Аскадский А.А., Кондращенко В.И. Компьютерное материаловедение полимеров. Т. 1. Атомно-молекулярный уровень. М.: Научный мир, 1999. 544 с.
34. Kim K.Y., Yun T.S., Choo J., Kang D.H., Shin H.S. Determination of air-void parameters of hardened cement-based materials using X-ray computed tomography. *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 37, pp. 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.012>
35. Łazniewska-Piekarczyk B. The type of air-entraining and viscosity modifying admixtures and porosity and frost durability of high performance self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 40, pp. 659–671. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.11.032
36. Piradov K.A., Mamaev T.L., Kozhabekov T.A., Marchenko S.M. Physical-mechanical, power, energy and structure-forming parameters of concrete. *Beton i zhelezobeton*. 2002. No. 2, pp. 10–12. (In Russian).
37. Krakovskiy M.B. Methods for optimizing reinforced concrete structures based on the principle of separation of parameters. Abstract diss... Doctor of Sciences (Engineering). Moscow. NIIZhB. 1980. 49 p.
38. Rykov A.S. Poiskovaya optimizacija. Metody deformiruemykh konfiguracij [Search engine optimization. Deformable configuration methods]. Moscow: Fizmatlit. 1993. 216 p. (pp. 146–153).
39. Ljashenko T.V., Voznesenskij V.A. Metodologija recepturno-tehnologicheskikh polej v komp'juternom stroitel'nom materialovedenii [Methodology of recipe-technological fields in computer building materials science]. Odessa. Asroprint. 2017. 168 p.
40. Kondrashhenko V.I. Tehnologija i svojstva vysokoprochnogo shlakopemzobetona [Technology and properties of high-strength slag-pumice concrete]. Abstract diss... Candidate of Sciences (Engineering). Moscow. 1982. 25 p.
41. Kondrashhenko V.I. An integrated approach to optimizing the composition of materials for building structures. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: Science and technology of silicate materials – the present and the future*. Moscow. Mendeleev University. 2003. Vol. V, pp. 123–128. (In Russian).
42. Bondarenko V.M., Ivahnjuk V.A., Kolchunov V.I., Jur'ev A.G. Optimization of materials of construction. *Vestnik of the department of building sciences RAACS*. 2000. Iss. 3, pp. 23–25. (In Russian).
43. Kondrashhenko V.I. Optimization of compositions and technological parameters for obtaining bar type products by methods of computer material science]. Diss... Doctor of Sciences (Engineering). Moscow. 2005. 551 p. (In Russian).
44. Zajcev Ju.V. Modelirovanie deformatsij i prochnosti betona metodami mehaniki razrushenija [Modeling of deformations and strength of concrete by methods of fracture mechanics]. Moscow: Sroyzdat. 1982. 196 p.
45. Bazhenov Ju.M., Vorob'ev V.A., Iljuhin A.V. Computer materials science of building composite materials. Status and development prospects. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 1999. No. 11, pp. 25–28. (In Russian).
46. Askadskij A.A., Kondrashhenko V.I. Komp'juternoe materialovedenie polimerov. Vol. 1. Atomno-molekuljarnyj uroven' [Computer materials science of polymers. Vol. 1. Atomic-molecular level]. Moscow. Nauchnyj mir. 1999. 544 p.

М.Д. БАТОВА¹, магистрант (marina.batova@mail.ru), Н.С. ЖУКОВА¹, инженер (аспирант) (Nata.Ruzina@mail.ru), А.Ф. ГОРДИНА¹, канд. техн. наук (gism56@mail.ru), Г.И. ЯКОВЛЕВ¹, д-р техн. наук (gyakov@istu.ru), А.В. ШАЙБАДУЛЛИНА¹, канд. техн. наук (fizhimlab@mail.ru); А.Э.М.М. ЭЛЬРЕФАИ², канд. техн. наук (Alielrfaie2@yahoo.com); З. ОРБАН³, доктор, директор института Engineering and Smart Technology (orbanz@pmmik.pte.hu)

¹ Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова (426000, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7)

² Египетско-русский университет (11829, Cairo-Suez road, Badr City, Cairo, Egypt)

³ Технический университет г. Печ. (Венгрия, г. Печ)

Гипсовые материалы, модифицированные комплексной добавкой на основе наносилики

Приведено исследование влияния активных минеральных добавок на основе наносилики и портландцемента на процессы структурообразования гипсовых вяжущих. Доказано, что активация при помощи ультразвуковой обработки способствует повышению эффективности наносилики, при этом обработка ультразвуком позволяет использовать добавку в составе комплексного модификатора независимо от исходной дисперсности. Активированная комплексная добавка способствует улучшению физико-механических свойств материала как на этапе гидратации, так и в процессе твердения композиции. Установлено, что введение в состав гипсового вяжущего комплексного модификатора способствует повышению прочности гипсовых композиций до 40%. Введение портландцемента и активированной наносилики приводит к изменению состава матрицы, характеризующейся повышенной плотностью и прочностью, за счет формирования новообразований на основе гидросиликатов кальция, связывающих кристаллогидраты гипса в блоки и заполняющих поровое пространство материала. Формирование новых продуктов гидратации в составе гипсовой композиции подтверждено методами физико-химического анализа, включая ИК-спектральный и дифференциально-термический, сканирующую электронную микроскопию и энергодисперсионную рентгеновскую спектроскопию.

Ключевые слова: гипсовые вяжущие, наносилика, ультразвук, портландцемент, прочность при сжатии, сканирующая электронная микроскопия.

Для цитирования: Батова М.Д., Жукова Н.С., Гордина А.Ф., Яковлев Г.И., Шайбадуллина А.В., Эльрефаи А.Э.М.М., Орбан З. Гипсовые материалы, модифицированные комплексной добавкой на основе наносилики // *Строительные материалы*. 2022. № 4. С. 64–71. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-64-71>

M.D. BATOVA¹, Master student (marina.batova@mail.ru), N.S. ZHUKOVA¹, Engineer (postgraduate) (Nata.Ruzina@mail.ru),

A.F. GORDINA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (gism56@mail.ru), G.I. YAKOVLEV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (gyakov@istu.ru),

A.V. SHAYBADULLINA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (fizhimlab@mail.ru); A.E.M.M. ELRAFAI², Candidate of Sciences (Engineering) (Alielrfaie2@yahoo.com);

Z. ORBAN³, PhD, Director of Engineering and Smart Technology Institute (orbanz@pmmik.pte.hu)

¹ Kalashnikov Izhevsk State Technical University (7, Studencheskaya Street, Izhevsk, 426000, Russian Federation)

² Egyptian-Russian University (11829, Cairo-Suez road, Badr City, Cairo, Egypt)

³ University of Pecs (H-7622 Pécs, Vasvári Pál u. 4)

Gypsum Materials Modified with Complex Additive Based on Nanosilica

In the article the results of using nanosilica and active mineral admixture for gypsum binder and their effect on structure formation are represented. In order to improve properties of additives nanosilica has been undergo by ultrasonic treatment. It was confirmed that the effect of ultrasonic treatment allowed the usage of nanosilica to be a key component for additives and there was no relation between initial particle size and that effect. The activated complex additive positively influences the mechanical properties of the material and this influence is being observed from hydration process till the hardening. Having used activated complex additive has resulted in 40% increase of compressive strength for gypsum binder. Both Portland cement and nanosilica lead to changes in the matrix composition. The changed matrix is characterized by higher density and compressive strength. This result is due to formation of new growths based on hydrated calcium silicate that may bond together gypsum crystals and fill voids at the same time. New growths based on hydrated calcium silicate had been identified by physical and chemical analysis methods, including IR spectral and differential thermal analysis, scanning electron microscopy, and energy dispersive X-ray spectroscopy.

Keywords: gypsum binder, nanosilica, ultrasonic treatment, Portland cement, compressive strength, scanning electron microscopy.

For citation: Batova M.D., Zhukova N.S., Gordina A.F., Yakovlev G.I., Shaybadullina A.V., Elrafi A.E.M.M., Orban Z. Gypsum materials modified with complex additive based on nanosilica. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 4, pp. 64–71. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-64-71>

В настоящее время актуальным направлением в области производства гипсовых вяжущих является получение материала с улучшенными физико-техническими показателями. Для решения данной задачи применяются различные виды минеральных добавок, в том числе техногенные продукты производств, такие как шлаки, золы и шламы различного происхождения [1–3]. Как показывают исследования [4–6], наи-

более эффективным является введение кремнеземсодержащих добавок, способствующих формированию в структуре гипсового камня малорастворимых новообразований, препятствующих растворению сульфата кальция в воде и обеспечивающих прочность и водостойкость изделий. При этом эффективность введения такого рода добавок напрямую зависит от размера частиц модификатора. Так, введение кремне-

Таблица 1
Table 1Химический состав нанокремнезема
Chemical composition of nanosilica

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	MnO
Содержание, %	96,12	0,86	0,34	0,39	0,53	0,21	1,05	0,36	0,04

земсодержащих добавок с размерами частиц в микрометровом диапазоне способствует повышению прочности гипсовых композитов на 10–30% [7, 8] и незначительному росту водостойкости. Однако при увеличении удельной поверхности модификатора в реакцию гидратации вступает большее количество частиц, за счет чего эффективность добавки существенно повышается. Доказано, что введение добавки с наноразмерными частицами позволяет существенно увеличить прочностные (до 60%) и технико-эксплуатационные показатели композита [9, 10].

Новым перспективным модификатором свойств вяжущих веществ является наносилика — добавка, включающая микро- и наночастицы оксида кремния. Доказано, что введение наносилики в состав цементных вяжущих и бетонов на их основе приводит к значительному снижению пористости материала, а также, повышению прочности и коррозионной устойчивости [11–13]. В то же время применение наносилики в сочетании с другим видом добавок (метакаолин, нанотрубки) способствует более полному заполнению порового пространства вяжущих, что позволяет получать высокопрочные бетоны и цементы [14, 15]. Также известно о применении наносилики для модификации свойств асфальтовых растворов: в сочетании с диатомитом наносилика способствует улучшению сцепления частиц и атмосферостойкости вяжущего [16], а при совместном введении с наноразмерными частицами глины — снижению вязкости и повышению теплостойкости [17]. Существуют разработки, направленные на модификацию гипсового вяжущего комплексными добавками, включающими наносилику и компонент цемента — трехкальциевый алюминат: при совместном введении данного вида добавок прирост прочности составляет 68%, а также уменьшаются сроки схватывания [18]. Отечественные разработки направлены в основном на модификацию цементных бетонов и растворов путем введения наносилики, в связи с чем исследование эффективности данного модификатора при создании композиционных гипсовых вяжущих является актуальным.

В качестве основного вяжущего компонента был использован гипс нормальноотвердеющий средней степени помола марки Г-4 производства ООО «Гипсополимер», г. Пермь. Применяемый гипс изготовлен из природного гипсового камня и соответствует требованиям ГОСТ 125–79 «Вяжущие гипсовые. Технические условия».

Щелочной компонент комплексной добавки. На основании анализа литературы [19–21] в качестве ще-

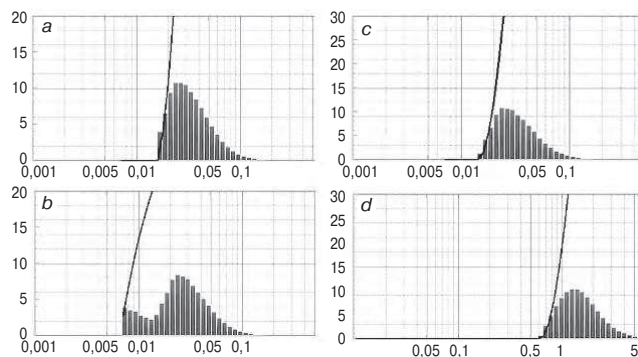


Рис. 1. Гранулометрический состав дисперсной фазы наносилики: а – первый отбор; б – второй отбор; с – третий отбор; д – четвертый отбор

Fig. 1. Granulometric composition of the dispersed phase of nanosilicas: a – first selection; b – second selection; c – the third selection; d – the fourth turn

лочного компонента комплексной модифицирующей добавки выбран портландцемент марки М400 Д0, соответствующий требованиям ГОСТ 10178–85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия», в количестве 5% от массы вяжущего.

Пуццолановый компонент комплексной добавки.

Для обеспечения стабильного повышения прочностных характеристик гипсового вяжущего в составе комплексной добавки была использована химически осажденная наносилика, содержание которой варьировалось в диапазоне от 0 до 0,5% от массы вяжущего. Указанная добавка предоставлена сотрудниками Египетско-Российского университета (г. Каир, Египет).

Применяемая в исследовании наносилика, полученная методом химической обработки жидкого стекла соляной кислотой, представляет собой шарообразные тонкодисперсные частицы, более чем на 90% состоящие из SiO₂ (табл. 1).

В исследовании была использована добавка четырех отборов, характеризующихся различным гранулометрическим составом. Анализ распределения частиц добавки, представленный на рис. 1, показал, что наносилика имеет полиразмерную дисперсную фазу, представленную микро- и наноразмерными частицами в широком диапазоне от 0,025 до 43,5 мкм.

Для определения возможности использования наносилики в качестве модификатора вне зависимости от изменяющихся технологических режимов производства были рассмотрены четыре пробы добавки. Порошки были предварительно подвергнуты обработке ультразвуком с целью их активации и усреднения гранулометрического состава. Для установления возможности использования добавки было исследо-

Таблица 2
Table 2

Сравнительный дисперсионный анализ порошков наносилики
Comparative dispersion analysis of nanosilica powders

Отбор	Средний размер (мкм) и содержание частиц				Диапазон размеров с наибольшими частными остатками (мкм) и их содержание
	≤ 50%	≤ 75%	≤ 90%	≤ 100%	
Порошки					
НС-1	0,031	0,044	0,061	1,875	0,022–0,045 (50%)
НС-2	0,025	0,037	0,054	1,047	0,022–0,036 (39%)
НС-3	0,031	0,043	0,06	0,585	0,022–0,036 (50%)
НС-4	1,429	1,972	2,758	43,51	23,285–78,953 (57%)
После обработки УЗ					
НС-1	0,031	0,043	0,06	0,738	0,022–0,036 (51%)
НС-2	0,03	0,043	0,059	0,83	0,022–0,036 (50%)
НС-3	0,031	0,043	0,059	0,585	0,022–0,036 (51%)
НС-4	0,031	0,044	0,061	0,585	0,022–0,036 (49%)
Через месяц после обработки УЗ					
НС-1	0,031	0,043	0,059	0,738	0,022–0,036 (50%)
НС-2	0,036	0,053	0,078	1,177	0,025–0,040 (42%)
НС-3	0,031	0,043	0,059	0,738	0,022–0,036 (50%)
НС-4	0,031	0,043	0,059	0,585	0,022–0,036 (50%)

вано влияние порошков наносилики, как непосредственно после активации, так и после выдержки полученных суспензий в течение месяца. Результаты дисперсионного анализа добавки до и после ультразвуковой обработки представлены в табл. 2.

Проведенный дисперсионный анализ порошков до и после активации позволил установить, что ультразвуковая обработка наносилики всех отборов приводит к измельчению наиболее крупной фазы добавки, что в целом способствует усреднению гранулометрического состава порошков. При этом следует отметить, что полученные суспензии близки по дисперсному составу, независимо от исходного размера частиц в составе полидисперсных порошков. Средний размер частиц в суспензиях непосредственно после обработки составляет 0,031–0,036 мкм, в то время как размеры наиболее активных частиц находятся в диапазоне 0,022–0,036 мкм.

Также была установлена общая стабильность полученных суспензий, характеризующаяся сохранением концентрации наиболее активной дисперсной фазы в процессе хранения.

Для исследования влияния суспензии наносилики на физико-механические свойства композиционного материала на основе гипса были изготовлены составы девяти типов. Содержание наносилики в композиции варьировалось от 0,05 до 0,1% от массы вяжущего, в то время как пластификатор С-3 вводился в концентрации 0,0125–0,025% от массы наносилики соответственно. Содержание щелочного активатора – портландцемента – было зафиксировано на уровне 5% для всех рассматриваемых составов. Оптимальное водовяжущее отношение для всех составов установлено на уровне 65%.

Изготовление образцов композиционного материала производилось следующим образом: порошок наносилики активировали посредством воздействия ультразвука в водной среде в присутствии суперпластификатора С-3 в соотношении 1:4. Активация производилась на приборе Hielscher UP 200 ht при мощности, равной 150 Вт, и амплитуде 19,5 кГц в течение 3 мин.

В воду затворения при непрерывном перемешивании последовательно вводили портландцемент, активированную суспензию наносилики и гипсовое вяжущее. При этом, учитывая воду, использованную для приготовления суспензии, для каждого состава делалась поправка водовяжущего отношения. Перемешивание компонентов осуществлялось до визуальной гомогенизации смеси, но не более минуты после затворения вяжущего. Полученная смесь заливалась в металлические формы с геометрическими размерами образцов-призм 40×40×160 мм.

Гидрофизические свойства. Определение водостойкости и водопоглощения композиционного материала осуществлялось в соответствии с методикой, описанными в ГОСТ 23789–2018 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний». Испытания проводились на серии, состоящей из двух балочек одинакового состава, в возрасте 28 сут.

Образцы взвешивались в сухом состоянии и выдерживались в воде в горизонтальном положении в течение 4 ч до достижения ими постоянной массы. При этом сначала балочки заливали водой до половины и выдерживали в течение 2 ч, затем заливали водой полностью и выдерживали еще 2 ч, после чего образцы были повторно взвешены.

Физико-механические свойства. Определение прочностных характеристик исследуемых составов

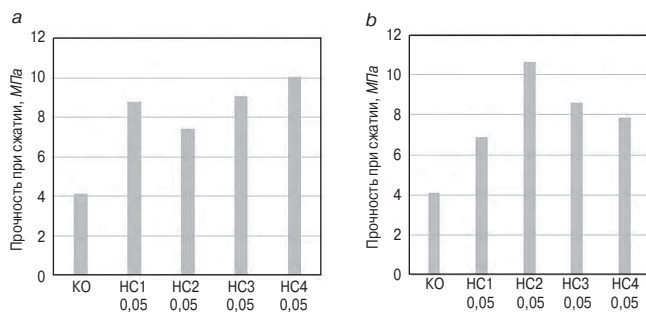


Рис. 2. Прочностные свойства гипсового вяжущего при введении наносилики, обработанной у/з, и цемента на 7-е сут твердения в концентрации: а – 0,05%; б – 0,1%

Fig. 2. Strength properties of gypsum binder with the introduction of ultrasonic treated nanosilica and cement for 7 days of hardening at a concentration of: а – 0.05%; б – 0.1%

производилось по стандартным методикам в соответствии с требованиями ГОСТ 23789–79 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний». Для проведения испытаний были изготовлены образцы-балочки размерами 40×40×160 мм. Распалубка образцов производилась не ранее 20 мин после формирования. Хранение образцов до момента испытаний производилось при $T=20\pm 2^\circ$ и относительной влажности воздуха 60–70%. Испытания образцов на растяжение при изгибе и при сжатии производились в возрасте 7 и 28 сут на прессе ПГМ-100МГ4.

С целью определения изменения физико-химических свойств и обоснования процессов, приводящих к изменению физико-технических характеристик, применялись SEM, IR-ray спектроскопия, дифференциально-термический анализ, дисперсионный анализ материалов.

SEM. Исследование особенностей микроструктуры композиционного материала на основе гипса проводили в Удмуртском федеральном исследовательском центре УрО РАН на сканирующем электронном микроскопе Fisher Scientific Quattro S. Параметры съемки микроструктуры: давление в вакуумной камере 50 Па; ускоряющее напряжение HV 30 кВ; ток пучка 16 А (Па).

IR-ray спектроскопия. Инфракрасная спектроскопия тонкодисперсного порошка, полученного измельчением образцов контрольного и модифицированного состава, производилась на ИК-Фурье-спектрофотометре IRAffinity-1.

Дифференциально-термический анализ. Съемка ДТА-спектров, получаемых посредством нагревания (или охлаждения) образца и эталона с заданной скоростью при сохранении их температуры одинаковыми за счет контроля мощности нагрева и измерения компенсирующего теплового потока, поддерживающего температуру образца в пределах заданной программы, была произведена на термогравиметрическом анализаторе TGA/DSC1.

Дисперсионный анализ материалов. Лазерный анализатор позволяет определять распределение частиц по размерам в широком диапазоне. Для дисперсионного анализа добавок применялся лазерный анализатор SALD-7500, диапазон измерений от 7 нм до 800 мкм.

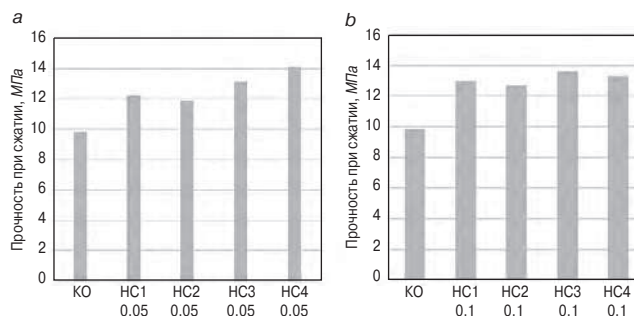


Рис. 3. Прочностные свойства гипсового вяжущего при введении наносилики, обработанной у/з, и цемента на 28-е сут твердения в концентрации: а – 0,05%; б – 0,1%

Fig. 3. Strength properties of a gypsum binder with the introduction of ultrasonic treated nanosilica and cement on the 28th day of hardening at a concentration of: а – 0.05%; б – 0.1%

Ранее были проведены исследования [22, 23] влияния наносилики на прочностные характеристики гипса при введении ее в количестве 0,05; 0,1 и 0,5%, в результате которых было установлено, что введение наносилики ввиду ее высокой дисперсности в количестве 0,5% не является эффективным.

Для определения оптимального содержания наносилики, обработанной ультразвуком, в композиционном материале варьировалось ее процентное содержание от 0 до 0,1% при постоянном содержании портландцемента. Результаты исследования физико-механических свойств разработанных составов композиционного материала на основе гипса представлены на рис. 2, 3.

Оценка прочности материала при ранней кристаллизации показала существенный рост этого показателя: повышение прочности составляет 110–140%. Необходимо отметить, что уже на 7-е сут прочность модифицированного материала сопоставима с прочностью контрольных образцов в возрасте 28 сут. Таким образом, модификация гипса разработанной комплексной добавкой позволяет получить эффект высушенного камня.

Следует отметить, что рост прочностных характеристик при увеличении содержания НС-2 в составе комплексной добавки обусловлен тем, что дисперсность данной добавки по распределению в целом несколько смещена в сторону более крупных частиц по сравнению с добавками других отборов.

Анализ полученных результатов позволил установить, что оптимальное содержание наносилики в составе композиционного материала составляет от 0,05 до 0,1%.

При этом прирост прочности модифицированных составов на 28-е сут по сравнению с контрольным составляет в среднем 30–40% в зависимости от среднего размера частиц в суспензии, что связано, вероятно, с возникновением зон уплотнения структуры модифицированного гипсового камня.

Результаты, полученные в ходе физико-механических испытаний образцов, свидетельствуют, что модификация гипсового вяжущего комплексной добавкой на основе активированной наносилики возможна независимо от начальной дисперсности осаж-

денной наносилики, однако эффективность воздействия добавки на прочностные характеристики зависит, в частности, от дисперсности активной составляющей модификатора.

Наибольший прирост прочности наблюдается при введении суспензий наносилики, характеризующихся высокой дисперсностью со средним размером частиц, равным 0,031 мкм. В частности, высокие результаты прироста прочности показали образцы, содержащие суспензии наносилики третьего и четвертого отборов.

Это подтверждает ранее выдвинутое предположение, что чем более тонкодисперсным является вводимый наноконпонент модификатора, тем большее влияние он оказывает на свойства материала, причем оптимальный эффект достигается при введении модификатора в малых концентрациях.

Увеличение дисперсности частиц модификатора, вероятно, способствует формированию большего объема малорастворимого аморфного материала, равномерно распределенного в структуре матрицы, что и обеспечивает улучшение физико-механических параметров композита.

Формирование в составе модифицированного гипсового камня аморфных новообразований может быть косвенно подтверждено повышением водостойкости, что было установлено в ранее проведенных исследованиях [22, 23], а также увеличением плотности материала с 1,1 г/см³ для контрольного состава до 1,2–1,3 г/см³, определенных для модифицированных образцов, и изменением характера микроструктуры образцов (рис. 4).

Анализ микроструктуры модифицированной гипсовой матрицы показал уплотнение кристаллической матрицы, изменение морфологии кристаллогидратов с образованием блоков разноориентированных кристаллов, связанных между собой продуктами взаимодействия наносилики и цементных минералов.

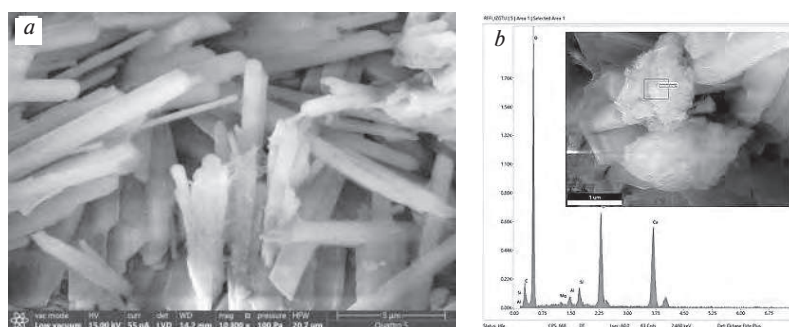


Рис. 4. Микроструктура поверхности гипсовой матрицы, модифицированной активированной наносиликой и портландцементом: а – вид при 10000-кратном увеличении; б – рентгеновский микроанализ поверхности гипсовой матрицы, модифицированной наносиликой, обработанной у/з

Fig. 4. Microstructure of the surface of a gypsum matrix modified with activated nanosilica and Portland cement: a – view at 10000-fold magnification; b – X-ray microanalysis of the surface of a gypsum matrix modified with nanosilica treated with ultrasound

В структуре материала наблюдается также местное срастание гипсовых индивидов, которые по всей поверхности покрыты гелевидным материалом на основе гидросиликатов кальция, что способствует общему повышению прочности, а также водостойкости гипсовой матрицы, что так же подтверждают результаты проведенного микроанализа.

При проведении анализа поверхности фазовых составляющих материала (рис. 4, б) на спектре в структуре модифицированной гипсовой матрицы зарегистрированы, помимо атомов кальция, кислорода и серы, формирующих кристаллы гипса, такие элементы, как кремний, алюминий и магний, входящие в состав гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция.

Для установления состава продуктов гидратации композиционного вяжущего были проведены физико-химические исследования образцов оптимальных составов.

Исследования образцов проводились на ИК-Фурье-спектрофотометре IRAffinity-1 производства Shimadzu (Япония) в диапазоне частот от 400 до 4000 см⁻¹.

На спектре модифицированного образца наблюдается изменение характера пиков, соответствующих

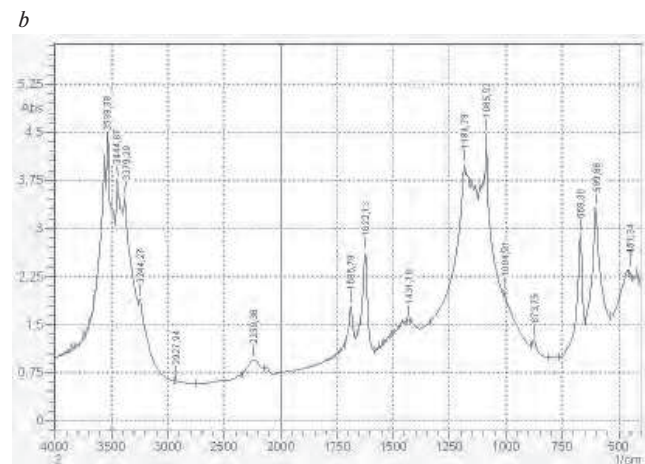
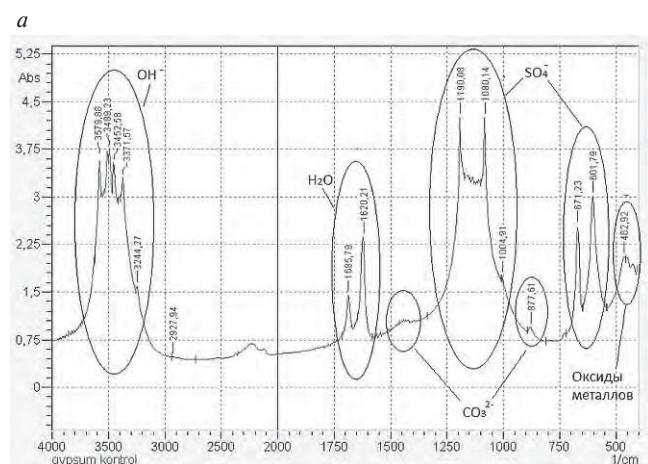


Рис. 5. ИК-спектры гипсовой матрицы: а – контрольный состав; б – составы с введением 5% цемента и 0,05% наносилики после у/з обработки
Fig. 5. IR spectra of the gypsum matrix: a – control composition; b – compositions with the introduction of 5% cement and 0.05% nanosilica after ultrasonic treatment

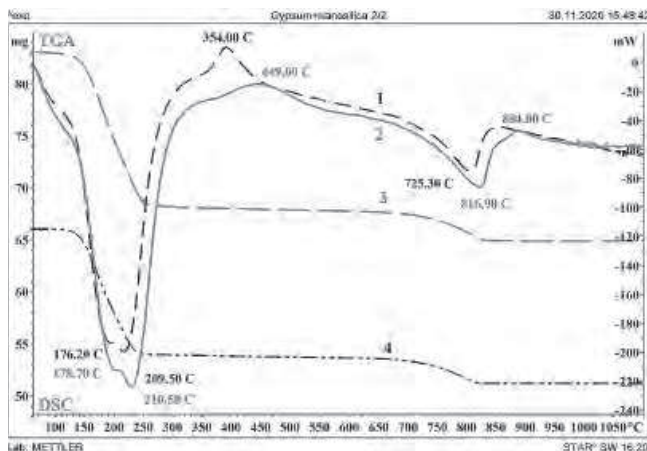


Рис. 6. ДТА-анализ гипсовой матрицы: 1, 4 – контрольный состав; 2, 3 – составы с введением 5% цемента и 0,05% наносилики после активации у/з

Fig. 6. DTA analysis of the gypsum matrix: 1, 4 – control composition; 2, 3 – compositions with the introduction of 5% cement and 0.05% nanosilica after activation by ultrasound

ОН-группе и сульфатам (SO_4^{4-}). При введении комплексной добавки происходит раздвоение и выравнивание пика ОН-группы, а также увеличение интенсивности и расширение основания этого пика, что говорит об увеличении образующихся в составе гидрооксидов.

При анализе пика, соответствующего сульфатной группе, можно отметить появление дополнительных пиков между двумя основными в диапазоне $1000\text{--}1200\text{ см}^{-1}$ на спектре, соответствующем образцу, модифицированному комплексной добавкой, что говорит об образовании в составе также силикатной группы (O-Si-O).

На дериватограммах образцов, модифицированных цементом и наносиликой, можно отметить изменения характера пиков температурных эффектов:

– в диапазоне температуры $150\text{--}220^\circ\text{C}$ происходит дегидратация гипса. Характерной особенностью данного пика является увеличение его интенсивности по сравнению с контрольным спектром, а также смещение в сторону более высокой температуры;

– в диапазоне температуры $350\text{--}400^\circ\text{C}$ происходит перекристаллизация ангидрита, однако введение добавок приводит к смещению эффекта и уменьшению интенсивности, что свидетельствует об изменении состава продуктов гидратации материала;

Список литературы

1. Гаитова А.Р., Ахмадулина И.И., Печенкина Т.В., Пудовкин А.Н., Недосеко И.В. Наноструктурные аспекты гидратации и твердения гипсовых и гипсошлаковых композиций на основе двухводного гипса // *Строительные материалы*. 2014. № 1–2. С. 46–51.
2. Morsy M.S., Alsayed S.H., Salloum Y.A. Development of eco-friendly binder using metakaolin-fly ash-lime-

– в диапазоне температуры $800\text{--}900^\circ\text{C}$ наблюдается диссоциация карбонатов и сульфатов кальция, а при введении минеральных добавок потеря массы увеличивается, что свидетельствует о протекании реакции дегидратации гидросиликатов кальция;

– в диапазоне температуры $850\text{--}950^\circ\text{C}$ на спектре модифицированного состава наблюдается неярко выраженный эндоэффект, который, вероятно, вызван перекристаллизацией силикатов кальция.

Анализ данных показал, что потеря массы в температурном диапазоне $650\text{--}900^\circ\text{C}$ при добавлении неактивированной наносилики в комплексную добавку составляет 6,6% [23], а при активации наносилики ультразвуком – 4,2%. Снижение потери массы свидетельствует об образовании более низкоосновных гидросиликатов кальция в составе модифицированной гипсовой матрицы.

Заключение

В ходе проведения анализа влияния комплексной добавки на основе активированной наносилики и портландцемента на структурообразование гипсовой матрицы:

1. Доказана стабильность суспензий, полученных в результате обработки ультразвуком. При этом установлено, что ультразвук позволяет усреднить параметры суспензий и, вне зависимости от наличия несовершенств технологической линии производства наносилики, способствует получению эффективного модификатора.

2. Модификация гипсового вяжущего комплексной добавкой на основе активированной наносилики способствует повышению механической прочности материала, повышает механическую прочность в зависимости от процентного содержания в минеральной матрице. Установлен оптимальный диапазон содержания наносилики, равный $0,05\text{--}0,1\%$; при этом повышение прочности при сжатии достигает $3\text{--}40\%$ по сравнению с контрольным составом, водостойкость повышается до 0,47.

3. Улучшение механических характеристик гипсового вяжущего, модифицированного комплексной добавкой на основе активированной наносилики, связано с формированием новых продуктов на основе гидросиликатов кальция, формирование которых подтверждено результатами физико-химических методов анализа, такими как ДСК, ИК-спектроскопия и рентгеновский микроанализ.

References

1. Gaitova A.R., Akhmadulina I.I., Pechenkina T.V., Pudovkin A.N., Nedoseko I.V. Nanostructural aspects of hydration and hardening of gypsum and gypsum slag compositions based on two-water gypsum. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 1–2, pp. 46–51. (In Russian).
2. Morsy M.S., Alsayed S.H., Salloum Y.A. Development of eco-friendly binder using metakaolin-fly

- anhydrous gypsum. *Construction and Building Materials*. 2012. No. 35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.142>.
3. Катильская А.С., Парфенова Л.М. Комплексная минеральная добавка на основе промышленных отходов для гипсового вяжущего // *Вестник Полоцкого государственного университета*. 2019. № 16. С. 24–29.
 4. Старостина И.В., Ефремов Р.О., Порожнюк Е.В. и др. Использование кремнеземсодержащих промышленных отходов в технологии композиционных гипсовых вяжущих // *Вестник Технологического университета*. 2016. Т. 19. № 13. С. 178–181.
 5. Халиуллин М.И., Рахимов Р.З., Гайфуллин А.Р. Состав и структура камня композиционного гипсового вяжущего с добавками извести и молотой керамзитовой пыли // *Вестник МГСУ*. 2013. № 12. С. 109–117.
 6. Escalante-Garcia J.I., Martínez-Aguilar O.A., Gomez-Zamorano L.Y. Calcium sulphate anhydrite based composite binders; effect of Portland cement and four pozzolans on the hydration and strength. *Cement and Concrete Composites*. 2017. No. 82, pp. 227–233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.05.012>
 7. Kondratieva N., Barre M., Goutenoire F., Sanytsky M. Study of modified gypsum binder. *Construction and Building Materials*. 2017. No. 149, pp. 535–542. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.140>
 8. Саламанова М.Ш., Окуева П.Х., Мовсулов М.М., Магоматов Х.А. Разработка рецептуры гипсовых композиций на основе минеральной кремнеземистой добавки // *Устойчивое развитие науки и образования*. 2017. № 8. С. 131–135.
 9. Войтович Е.В., Череватова А.В. Наноструктурированное композиционное гипсовое вяжущее – вяжущее нового поколения // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2010. № 3. С. 32–34.
 10. Бердов Г.И., Машкин Н.А. Перспективные направления совершенствования составов и технологии строительных материалов на основе минеральных вяжущих веществ // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2015. № 4 (676). С. 45–57.
 11. Tobón J.I., Payá J., Restrepo O.J. Study of durability of Portland cement mortars blended with silica nanoparticles. *Construction and Building Materials*. 2015. No. 80. pp. 92–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.074>
 12. Stucchi N.M.E., Tesser E., Zaccariello G., Antonelli F., Benedetti A. Evaluating two nanosilica dimensional range for the consolidation of degraded silicate stones. *Construction and Building Materials*. 2022. No. 329. 127191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127191>
 13. Мункхтувшин Д., Балабанов В.Б., Пуценко К.Н. Опыт применения добавок микро- и наносилики из отходов кремниевого производства в бетонных ash-lime-anhydrous gypsum. *Construction and Building Materials*. 2012. No. 35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.142>.
 3. Katul'skaya A.S., Parfenova L.M. Complex mineral additive based on industrial waste for gypsum binder. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2019. No. 16, pp. 24–29. (In Russian).
 4. Starostina I.V., Efremov R.O., Porozhnyuk E.V. [and others]. Use of silica-containing industrial wastes in the technology of composite gypsum binders. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*. 2016. Vol. 19. No. 13, pp. 178–181. (In Russian).
 5. Khaliullin M.I., Rakhimov R.Z., Gayfullin A.R. The composition and structure of the stone of the composite gypsum binder with lime additives and ground ceramite dust. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 12, pp. 109–117. (In Russian).
 6. Escalante-Garcia J.I., Martínez-Aguilar O.A., Gomez-Zamorano L.Y. Calcium sulphate anhydrite based composite binders; effect of Portland cement and four pozzolans on the hydration and strength. *Cement and Concrete Composites*. 2017. No. 82, pp. 227–233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.05.012>
 7. Kondratieva N., Barre M., Goutenoire F., Sanytsky M. Study of modified gypsum binder. *Construction and Building Materials*. 2017. No. 149, pp. 535–542. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.140>
 8. Salamanova M.Sh., Okueva P.Kh., Movsulov M.M., Magomadov Kh.A. Development of the formulation of gypsum compositions based on mineral silica additive. *Ustoichivoe razvitie nauki i obrazovaniya*. 2017. No. 8. pp. 131–135. (In Russian).
 9. Voitovich E.V., Cherevatova A.V. Nanostructured composite plaster binder – a new generation binder. *Vestnik of Belgorod State Technical University named after V.G. Shukhova*. 2010. No. 3, pp. 32–34. (In Russian).
 10. Berdov G.I., Mashkin N.A. Promising directions of improvement of compositions and technology of building materials based on mineral binders. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2015. No. 4 (676), pp. 45–57. (In Russian).
 11. Tobón J.I., Payá J., Restrepo O.J. Study of durability of Portland cement mortars blended with silica nanoparticles. *Construction and Building Materials*. 2015. No. 80. pp. 92–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.074>
 12. Stucchi N.M.E., Tesser E., Zaccariello G., Antonelli F., Benedetti A. Evaluating two nanosilica dimensional range for the consolidation of degraded silicate stones. *Construction and Building Materials*. 2022. No. 329. 127191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127191>
 13. Munkhtuvshin D., Balabanov V.B., Putsenko K.N. Experience in the use of micro- and nanosilicon additives from silicon waste in concrete technologies. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2017. Vol. 7. No. 3 (22), pp. 107–115. (In Russian).

- технологиях // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2017. Т. 7. № 3 (22). С. 107–115.
14. Raheem A.A., Abdulwahab R., Kareem M.A. Incorporation of metakaolin and nanosilica in blended cement mortar and concrete- A review. *Journal of Cleaner Production*. 2021. No. 290. 125852. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125852>
 15. Varisha, Zaheer M.M., Hasan S.D. Mechanical and durability performance of carbon nanotubes (CNTs) and nanosilica (NS) admixed cement mortar. *Materials Today: Proceedings*. 2021. No. 42, pp. 1422–1431. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.151>
 16. Baldi-Sevilla A., Montero M.L., Aguiar J.P., Loría L.G. Influence of nanosilica and diatomite on the physicochemical and mechanical properties of binder at unaged and oxidized conditions. *Construction and Building Materials*. 2016. No. 127, pp. 176–182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.140>
 17. Ezzat H., El-Badawy S., Gabr A., Zaki E.-S.I., Breakah T. Evaluation of asphalt binders modified with nanoclay and nanosilica. *Procedia Engineering*. 2016. No. 143, pp. 1260–1267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.119>
 18. Chen P., Ma B., Tan H., Su Y., Jin Z., Liu X., Wu L. Effect of tricalcium aluminate and nano silica on performance of hemihydrate gypsum. *Construction and Building Materials*. 2022. No. 321. 126362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126362>
 19. Потапов В.В., Горев Д.С. Сравнительные результаты повышения прочности бетона вводом нанокремнезема и микрокремнезема // *Современные наукоемкие технологии*. 2018. № 9. С. 98–102.
 20. Сагдатуллин Д.Г. Высокопрочное гипсоцементно-пуццолановое вяжущее. Дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2010. 210 с.
 21. Изотов В.С., Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р. Исследование влияния активных минеральных добавок на реологические и физико-механические свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // *Строительные материалы*. 2015. № 5. С. 20–23.
 22. Батова М.Д., Семенова Ю.А., Гордина А.Ф. Модификация вяжущих на основе сульфатов кальция тонкодисперсными минеральными добавками. *Сборник материалов XXIX Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов и Форума научно-технического творчества молодежи ОА «ИЭМЗ «Купол» «Выставка инноваций – 2020 (весенняя сессия)»*. 2020. С. 58–61.
 23. Батова М.Д., Семёнова Ю.А., Гордина А.Ф., Яковлев Г.И., Эльрефаи А.Э.М.М., Саидова З.С., Хазеев Д.Р. Модификация материалов на основе сульфата кальция комплексными минеральными добавками // *Строительные материалы*. 2021. №1–2. С.13–21. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-788-1-2-13-21>
 14. Raheem A.A., Abdulwahab R., Kareem M.A. Incorporation of metakaolin and nanosilica in blended cement mortar and concrete- A review. *Journal of Cleaner Production*. 2021. No. 290. 125852. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125852>
 15. Varisha, Zaheer M.M., Hasan S.D. Mechanical and durability performance of carbon nanotubes (CNTs) and nanosilica (NS) admixed cement mortar. *Materials Today: Proceedings*. 2021. No. 42, pp. 1422–1431. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.151>
 16. Baldi-Sevilla A., Montero M.L., Aguiar J.P., Loría L.G. Influence of nanosilica and diatomite on the physicochemical and mechanical properties of binder at unaged and oxidized conditions. *Construction and Building Materials*. 2016. No. 127, pp. 176–182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.140>
 17. Ezzat H., El-Badawy S., Gabr A., Zaki E.-S.I., Breakah T. Evaluation of asphalt binders modified with nanoclay and nanosilica. *Procedia Engineering*. 2016. No. 143, pp. 1260–1267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.119>
 18. Chen P., Ma B., Tan H., Su Y., Jin Z., Liu X., Wu L. Effect of tricalcium aluminate and nano silica on performance of hemihydrate gypsum. *Construction and Building Materials*. 2022. No. 321. 126362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126362>
 19. Potapov V.V., Gorev D.S. Comparative results of increasing the strength of concrete by introducing nanosilicon and microsilicon. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2018. No. 9, pp. 98–102. (In Russian).
 20. Sagdatullin D.G. High-strength gypsum cement-puzzolan binder Diss... Candidate of Sciences (Engineering). Kazan. 2010. 120 p. (In Russian).
 21. Isotov V.S., Mukhametrakhimov R.Kh., Galautdinov A.R. Study of the effect of active mineral additives on the rheological and physical-mechanical properties of gypsum-cement-puzzolan binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 5, pp. 20–23. (In Russian).
 22. Batova M.D., Semenova Yu.A., Gordina A.F. Modification of calcium sulphate-based binders with fine mineral additives. *Collection of materials of the XXIX Republican Exhibition-Session of Student Innovation Projects and the Forum of Scientific and Technical Creativity of Youth OA «IEMZ «Kupol» «Innovation Exhibition – 2020 (spring session)»*. 2020, pp. 58–61. (In Russian).
 23. Batova M.D., Semenova Yu.A., Gordina A.F., Yakovlev G.I., Elrefai A.E.M.M., Saidova Z.S., Khazeev D.R. Complex mineral additives for the modification of calcium sulphate based materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 1–2, pp. 13–21. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-788-1-2-13-21>

Н.С. СОКОЛОВ^{1,2}, канд. техн. наук, директор (ns_sokolov@mail.ru)

¹ Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова (428015, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский пр., 15)

² ООО НПФ «ФОРСТ» (428000, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. Калинина, 109а)

Опыт устройства ограждения котлована в особо стесненных условиях

Строительство объектов в стесненных условиях всегда является сложной геотехнической проблемой, связанной с обеспечением базаварийной эксплуатации зданий и сооружений окружающей застройки. В арсенале геотехников накоплен большой потенциал геотехнических технологий устройства ограждений котлованов. Зачастую не все подходят для условий использования в стесненных условиях. Наиболее приспособлены для таких случаев технологии, использующие пробуренные скважины (скважины под буровые сваи и грунтовые анкера) с последующим заполнением их бетоном и при этом не нарушающие напряженно-деформированного состояния окружающего грунта. Использование буроинъекционных свай и грунтовых анкеров, устраиваемых по электроразрядной технологии (технология ЭРТ), во многих случаях успешно разрешает проблему строительства в стесненных условиях. Рассмотрен один из геотехнических случаев устройства ограждения котлована в особо стесненных условиях. Приведен алгоритм устройства буроинъекционных анкеров ЭРТ и порядок производства бетонных работ при разных погодных условиях.

Ключевые слова: геотехническое строительство, электроразрядная технология ЭРТ, буроинъекционная свая ЭРТ, грунтовые анкера ЭРТ.

Для цитирования: Соколов Н.С. Опыт устройства ограждения котлована в особо стесненных условиях // *Строительные материалы*. 2022. № 4. С. 72–78. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-72-78>

N.S. SOKOLOV^{1,2}, Candidate of Sciences (Engineering), Director (ns_sokolov@mail.ru)

¹ I.N. Ulianov Chuvash State University (15, Moskovsky Ave., Cheboksary, 428015, Chuvash Republic, Russian Federation)

² ООО НПФ "FORST" (109a, Kalinina Streer, Cheboksary, 428000, Chuvash Republic, Russian Federation)

Experience in the Construction of a Pit Fence in Particularly Cramped Conditions

The construction of facilities in cramped conditions is always a complex geotechnical problem associated with the provision of accident-free operation of buildings and structures of the surrounding development. The arsenal of geotechnicians has accumulated a great potential of geotechnical technologies for the construction of pit fences. Often not all are suitable for the conditions of their use in cramped conditions. Technologies that use drilled wells (wells for drilling piles and ground anchors) with subsequent filling with concrete and at the same time not violating the stress-strain state of the surrounding soil are the most suitable for such cases. The use of drill-injection piles and ground anchors arranged by electric discharge technology (ERT technology) in many cases successfully solves the problem of construction in cramped conditions. One of the geotechnical cases of the construction of a pit fence in particularly cramped conditions is considered. The algorithm of the arrangement of drilling-injection anchors of the ERT and the procedure for the production of concrete works under different weather conditions are given.

Keywords: geotechnical construction, electric discharge technology of ERT, drilling-injection pile of ERT, ground anchors of ERT.

For citation: Sokolov N.S. Experience in the construction of a pit fence in particularly cramped conditions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 4, pp. 72–78. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-801-4-72-78>

Строительство зданий и сооружения в стесненных условиях требуют от строителей и геотехников пристального внимания [1–4], связанного с необходимостью сохранения объектов окружающей застройки [5–10]. В рассматриваемой статье приведен пример устройства ограждения котлована строящегося здания, размещенного в окружении существующих сооружений.

В административном отношении участок строительства шестиэтажного жилого дома в Нижнем Новгороде расположен в стесненных условиях городской застройки [11–13]. Он возведен на свободной от застройки территории. В окружении строящегося дома в зоне геотехнического влияния имеются шесть объектов существующей застройки (рис. 1), в том числе два ОКН (объекты культурного наследия).

В геоморфологическом отношении участок изысканий расположен на водораздельном плато рек

Оки и Волги. Отметки поверхности земли в пределах участка изменяются от 135,9 до 136,3 Б.С. (по устьям инженерно-геологических выработок). Рельеф спланированный.

Инженерно-геологическое строение участка до глубины 20 м представлено нерасчлененными верхнесреднечетвертичными лессовыми супесями (rgQII-III) вскрытой мощностью 1,7–2,5 м; нерасчлененными верхнесреднечетвертичными лессовыми суглинками (rgQII-III) мощностью 14,5–16,6 м; с поверхности отложения перекрыты насыпным грунтом (tQIV) мощностью 1,7–3 м.

Все инженерно-геологические выработки нанесены на план расположения инженерно-геологических выработок. Геолого-литологическое строение участка характеризуется колонками скважин и инженерно-геологическими разрезами. Гидрогеологические условия участка до глубины 20 м на момент проведения



Рис. 1. Границы зоны геотехнического влияния
Fig. 1. Boundaries of the geotechnical influence zone

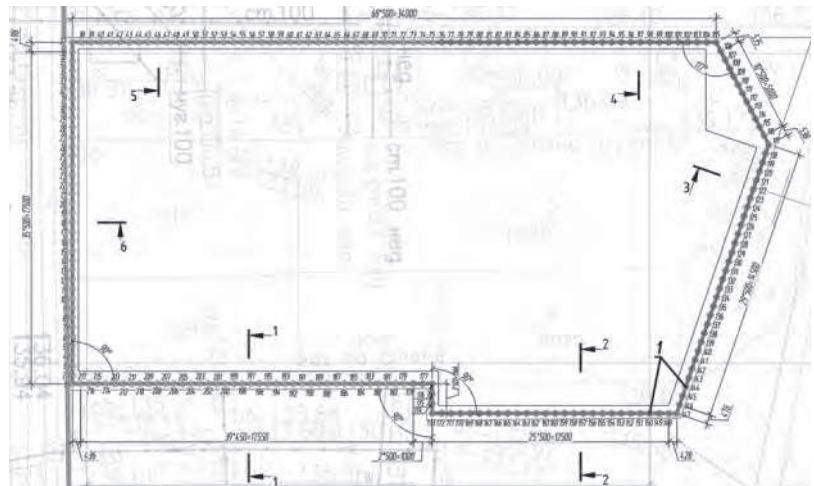


Рис. 2. План расположения буринъекционных свай ЭРТ ограждения котлована
Fig. 2. The layout plan of the bored-injection piles of the ERT fencing of the pit

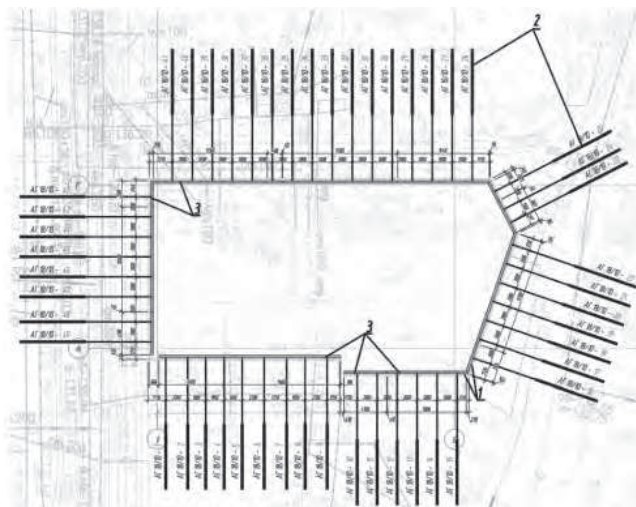


Рис. 3. Схема размещения грунтовых анкеров ЭРТ ограждения котлована: 1 – буринъекционные сваи ЭРТ; 2 – грунтовые анкера ЭРТ первого уровня; 3 – монолитный железобетонный обвязочный пояс
Fig. 3. The layout scheme of the ground anchors of the ERT fencing of the pit: 1 – bored-injection piles ERT; 2 – ground anchors ART of the first level; 3 – monolithic reinforced concrete binding belt

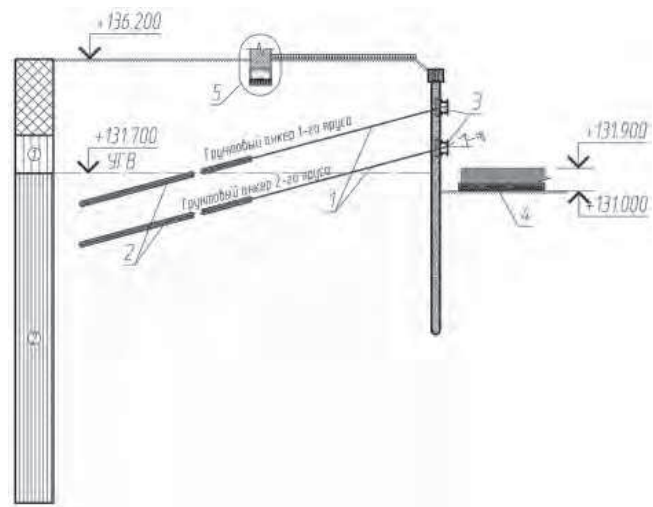


Рис. 4. Характерный разрез ограждения котлована: 1, 2 – грунтовые анкера ЭРТ первого и второго уровня; 3 – стальные анкерные пояса; 4 – монолитный плитный железобетонный фундамент строящегося 6-этажного объекта; 5 – фундамент одного из зданий существующей застройки
Fig. 4. A characteristic section of the pit fence: 1, 2 – ground anchors ERT of the first and second levels; 3 – steel anchor belts; 4 – monolithic slab reinforced concrete foundation of a 6-storey object under construction; 5 – the foundation of one of the buildings of the existing development

Таблица 1
Table 1

Геолого-литологическое строение участка
Geological and lithological structure of the site

№ слоя	Возраст, генезис, описание грунтов, площадное распространение	Мощность, м
Современные пролювиально-делювиальные отложения (pdQIV)		
1	tQIV – насыпной грунт: песок коричневый пылеватый, с включением щебня, строительного мусора, арматуры; кирпич; суглинок с включением песка, кирпича, щебня, строительного мусора; супесь темно-коричневая, с включением строительного мусора с примесью торфа. Вскрыт всеми скважинами с поверхности	1,7–3
Нерасчлененные средневерхнечетвертичные отложения (prQII- III)		
2	prQII-III – суглинок лессовый коричневый, темно-коричневый, с прослоями супеси. Вскрыт всеми скважинами в средней части разреза	14,5–16,6
3	prQII-III – супесь лессовая коричневая, с прослоями суглинка. Вскрыта всеми скважинами	Вскрытая 1,7–2,5

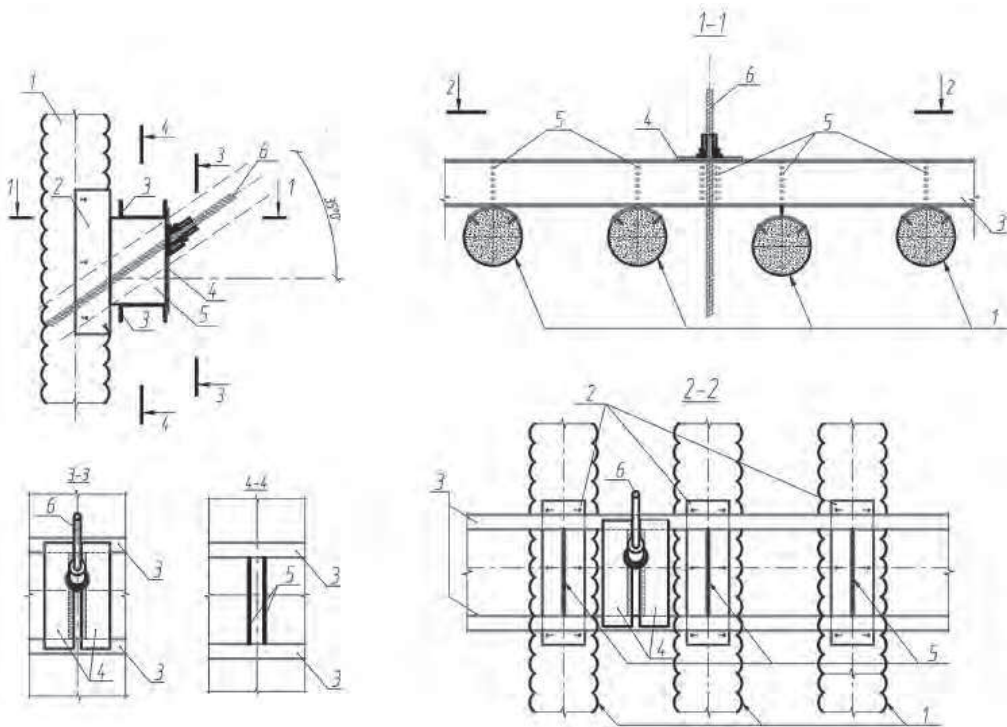


Рис. 5. Схема узла крепления грунтовых анкеров к обвязочному поясу: 1 – буринъекционная свая ЭРТ; 2 – упор анкерного пояса; 3 – анкерный пояс из стальных профилей; 4 – стальная пластинка; 5 – ребра жесткости анкерного пояса; 6 – стержень из высокопрочной арматуры анкерного пояса; 7 – узел крепления стыка анкерного пояса

Fig. 5. The scheme of the attachment point of the ground anchors to the binding belt: 1 – drilling-injection ERT pile ERT; 2 – anchor belt stop; 3 – anchor belt made of steel profiles; 4 – steel plate; 5 – anchor belt stiffeners; 6 – a rod made of high-strength reinforcement of the anchor belt; 7 – anchor belt joint attachment point

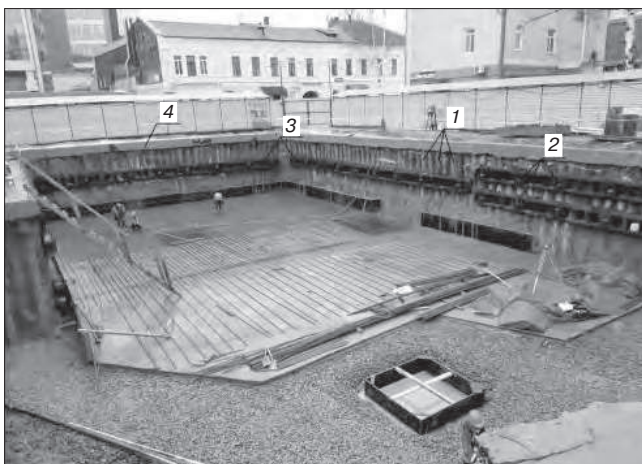
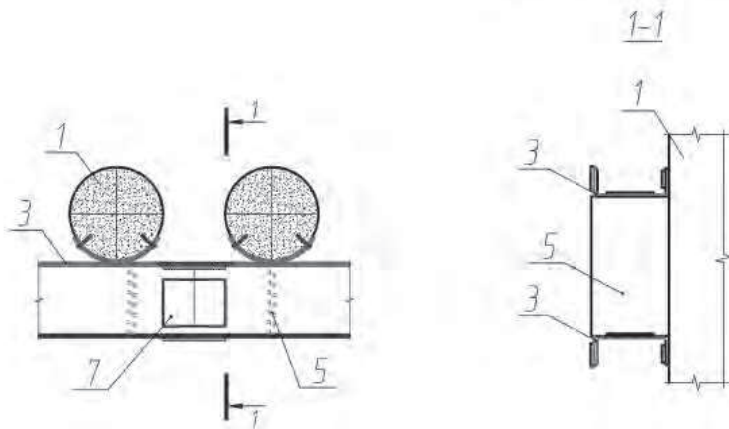


Рис. 6. Фрагмент плана ограждения котлована: 1 – буринъекционные сваи ЭРТ; 2 – грунтовые анкера ЭРТ; 3 – анкерный обвязочный пояс; 4 – монолитный железобетонный обвязочный пояс

Fig. 6. A fragment of the plan of the excavation enclosure: 1 – drilling-injection piles of ERT; 2 – ground anchors of ERT; 3 – anchor binding belt; 4 – monolithic reinforced concrete binding belt

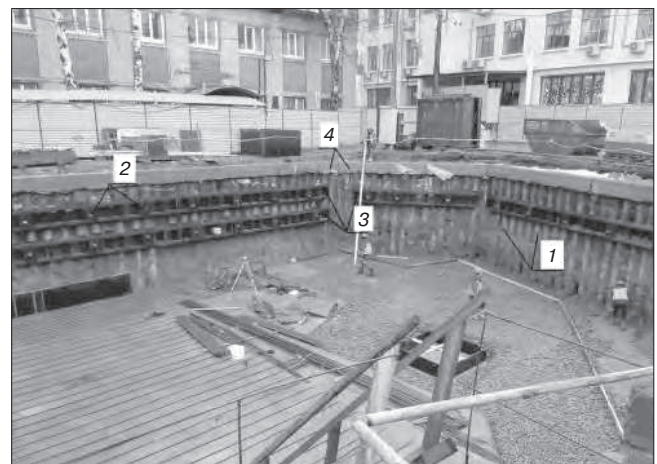


Рис. 7. Фрагмент плана ограждения котлована: 1 – буринъекционные сваи ЭРТ; 2 – грунтовые анкера ЭРТ; 3 – анкерный обвязочный пояс; 4 – монолитный железобетонный обвязочный пояс

Fig. 7. A fragment of the plan of the excavation enclosure: 1 – drilling-injection piles of ERT; 2 – ground anchors of ERT; 3 – anchor binding belt; 4 – monolithic reinforced concrete binding belt

изысканий (июль—август 2017 г.) характеризуются наличием водоносного горизонта, приуроченного к четвертичным отложениям. Уровень подземных вод зафиксирован на глубинах 4,5–6,4 м. Водоносный горизонт безнапорный, водовмещающими грунтами являются лессовые суглинки. Водоупор скважинами не вскрыт. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и утечек из водонесущих коммуникаций.

Геолого-литологическое строение участка представлено в табл. 1.

На основании геотехнических расчетов влияния нового строительства на деформации зданий окружающей застройки (геотехнический прогноз влияния) был разработан рабочий проект ограждения котлована с использованием буроинъекционных свай ЭРТ и грунтовых анкеров ЭРТ (рис. 2–7).

Ниже в табл. 2 приводится алгоритм устройства буроинъекционных анкеров ЭРТ.

Таблица 2
Table 2

Алгоритм устройства буроинъекционных анкеров ЭРТ
The algorithm of the construction of drilling-injection anchors of the ERT

1. УСЛОВИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ

В ходе устройства подпорной стенки необходимо строго соблюдать этапность разработки грунта в следующей последовательности.

1. Выполнить установку шпунтового ограждения из буроинъекционных свай ЭРТ в проектное положение.
2. Грунтовые анкера выполняются после первого этапа разработки грунта.
3. Преднапряжение грунтовых анкеров производится в соответствии с ВСН 506–88 «Проектирование и устройство грунтовых анкеров».
4. Параллельно с устройством грунтовых анкеров и их преднапряжением производится монтаж деревянной заборки.
5. Второй этап разработки предусматривает выемку грунта до отметки дна котлована.
6. Приступить к разработке грунта следует только при соответствии прочности возведенной конструкции требованиям настоящего проекта.
7. В процессе эксплуатации грунтовых анкеров не допускается динамических, вибрационных воздействий на них до засыпки пазух котлована.
8. После разработки котлована выполнить устройство дренажной канавы, заполненной фильтрующим материалом (щебнем, гравием) в соответствии с СП 45.13330.2017 «Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01–87». Подземные воды отводят в зумпфы, оборудованные погружными насосами.

2. КОНСТРУИРОВАНИЕ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ

1. Конструкции анкерного крепления: грунтовые анкера ЭРСТ, детали для крепления опоры грунтового анкера.
2. Расчетная нагрузка на анкер Р_w.
3. Свободная длина грунтового анкера обусловлена призмой обрушения стенки котлована, форма которой определена расчетом общей устойчивости конструкции методом логарифмических спиралей.
4. Принятая маркировка грунтовых анкеров: АГ 15/8 (полная длина анкера 15 м, длина корня 8 м).
5. Буровой диаметр для грунтовых анкеров 150 мм, выполняются под углом 30 град к горизонту.
6. Срок эксплуатации временного анкерного крепления в соответствии с принятой расчетной схемой не более двух лет.

3. КОНСТРУКЦИИ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ

1. Для грунтовых анкеров применять цементные растворы с водоцементным отношением (по массе) В: Ц=0,5:1.
2. Для цементных растворов использовать портландцемент без минеральных добавок марки по прочности не ниже М500.
3. Не допускается применение пуццолановых, глиноземистых и шлаковых портландцементов.
4. Вода для цементных растворов водопроводная и техническая, не содержащая сахаров и фенолов более 10 мг/л, нефтепродуктов и жиров. Водородный показатель (рН) от 4 до 12,5.
5. В качестве анкерной тяги используется стержневая арматура диаметром 36 мм класса А500С (в пластмассовой оболочке диаметром не менее 63 мм) и винтовая арматура диаметром 25 мм класса Аt800.
6. Для центрирования в скважине по всей длине тяги предусмотрены фиксаторы (шаг не более 2 м) из отрезков пластиковых труб с продольными разрезами по периметру.
7. Для изготовления сварных каркасов применять арматуру из стали марки 35ГС запрещается.
8. Ручная дуговая сварка элементов анкерного каркаса осуществляется электродами типа Э42А, Э46А, Э50А.
9. Распределительный пояс предусмотрен из двух швеллеров № 27 С245.
10. Детали для крепления опоры грунтового анкера за опорную пластину (плиту): сферическая, коническая, косая шайбы, гайка стопорная (Ст45).

4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ГРУНТОВОГО АНКЕРА

1. Технологическая последовательность изготовления анкеров включает следующие операции:
 - формирование скважины требуемой глубины и диаметра шнековым бурением;
 - заполнение до устья скважины цементным раствором;
 - электроразрядная обработка скважины на уровне корня;
 - установка анкерного каркаса в проектное положение.
2. При устройстве анкеров последующая скважина должна устраиваться не менее чем за 3,5 м от предыдущей. Бурение скважин рядом с ранее изготовленными анкерами допускается лишь по прошествии не менее 48 ч после окончания бетонирования последних.
3. Несущая способность каждого анкера должна проверяться до включения его в работу совместно с закрепляемой конструкцией путем проведения контрольных или приемочных испытаний на максимальную испытательную нагрузку.

4. До начала работ должны быть обозначены охранные зоны существующих подземных и воздушных коммуникаций, а также подземных сооружений с указанием охранной зоны, устанавливаемой в соответствии с п. 6.1.21 СП 45.13330.2017.

5. ФОРМИРОВАНИЕ СКВАЖИНЫ БУРЕНИЕМ

1. Бурение шнековое, выполнять в соответствии с проектом производства работ.
2. Установка для бурения УБГ-СГ «БЕРКУТ».
3. Бурение скважин выполняется с рабочих отметок, указанных в проекте.
4. Для разворота буровых машин и возможности установки анкерных каркасов ширина грунтовой бермы должна составлять не менее 15 м.
5. В процессе бурения следует контролировать параметры грунта на глубине.
6. Подъем бурового инструмента следует проводить медленно, после того как будет установлено, что в забое скважины не создается пониженное давление относительно бытового давления грунта.
7. Цементация скважин должна производиться сразу после окончания бурения. При невозможности цементации в указанный срок бурение скважин начинать не следует.

6. ЦЕМЕНТАЦИЯ СКВАЖИНЫ ГРУНТОВОГО АНКЕРА

1. Заполнение скважины производится до устья через бетонолитную колонну диаметром не менее 40 мм, опускаемую до забоя. После достижения забоя скважина должна быть промыта цементным раствором. Промывка цементным раствором продолжается до прекращения всплывания частиц грунта.
2. Приготовление цементного раствора производить на строительной площадке непосредственно перед его нагнетанием в скважину. Для приготовления и подачи раствора применяется пневморастороагнетатель ПРН-500 (ПРН-300). Давление нагнетания 0,5–5 МПа.
3. Следует контролировать объем закачиваемого в скважину цементного раствора, сопоставляя его с проектным и с объемом выбуренного грунта, причем объем закачанного в скважину раствора должен превышать объем выбуренного грунта.

7. ПРОГРАММА ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ОБРАБОТКИ СКВАЖИНЫ, ЗАПОЛНЕННОЙ ЦЕМЕНТНЫМ РАСТВОРОМ

1. Мощность накапливаемой энергии не менее 50 кДж.
2. Длина кабеля от ГИТ до электродной системы не более 80 м, включая длину анкера (высоковольтный кабель ТИП-2 – 50 м, высоковольтный кабель КВИМ – 30 м).
3. Обработка электрическими разрядами производится на длине корня анкера сериями не менее 13 разрядов на каждом уровне. Шаг уровней 0,8–0,9 м. Расчетное увеличение бурового диаметра (150 мм) довести до 200 мм, для этого следует контролировать уровень раствора в скважине до начала обработки одного уровня и после завершения обработки.
4. Осуществлять контроль за тем, чтобы общий объем поданного в скважину раствора, включая доливку, превышал объем пройденной скважины (объем грунта, извлеченного из данной скважины).
5. По результатам контроля падения уровня цементного раствора в опытной скважине или объема добавляемого раствора и сейсмических возмущений в зоне формирования геотехнического элемента откорректировать программу обработки корня анкеров электрическими разрядами.

8. МОНТАЖ АНКЕРНОГО КАРКАСА

1. Опускать анкерный каркас в скважину следует плавно, без рывков.
2. Необходимо контролировать положение арматурного каркаса после установки его в проектное положение. Каркас закрепить от погружения и смещения в плане.
3. Каркас перед установкой следует очистить от случайно налипшего на него грунта.

9. ПРОИЗВОДСТВО БЕТОННЫХ РАБОТ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ВОЗДУХА

1. За три дня до производства бетонных работ, когда ожидается среднесуточная температура воздуха ниже +5°C или минимальная суточная температура ниже 0°C, предусматривать в цементные растворы противоморозные добавки.
2. Цементный раствор с противоморозными добавками при укладке должен иметь температуру не ниже +10°C.
3. При температуре грунта ниже температуры воздуха количество противоморозных добавок должно вводиться из расчета минимальной прогнозируемой температуры воздуха или грунта к моменту достижения раствором необходимой прочности.
4. Для снижения теплопотерь в процессе твердения бетона после погружения в скважину выходящая на поверхность часть арматурного каркаса должна быть утеплена.
5. Не допускается перегрев цементного раствора (нагрев более 70°C).
6. Допускается не применять противоморозные добавки в цементных растворах, заполняемых в скважины ниже глубины сезонного промерзания грунта.
7. После окончания работ и перерывах в работе более 50 мин шланги для подачи раствора промыть горячей водой, продуть сжатым воздухом и убрать в теплое помещение. До начала производства работ шланги развернуть, продуть сжатым воздухом и промыть горячей водой.
8. Для исключения промораживания грунтов при перерывах в работе открытые скважины должны быть изолированы от атмосферного воздуха.
9. При температуре ниже -20°C работы по изготовлению грунтовых анкеров должны быть остановлены.

10. ПОРЯДОК НАТЯЖЕНИЯ ГРУНТОВЫХ АНКЕРОВ

1. До начала работ должны быть установлены все элементы анкерного крепления на планируемой для натяжения захватке.
2. Косые шайбы должны быть приварены к опорным пластинам (плитам) стального распределительного пояса.
3. Прочность цементного камня корня анкера должна быть не менее 20 МПа. Для контроля набора прочности в процессе изготовления анкеров должны быть отобраны девять кубиков 10×10×10 см, которые испытываются в возрасте 3,7 сут (для внутреннего пользования) и 10 сут (для отчета).

4. Контрольные статические испытания проводят, если они не назначены, на каждом десятом анкере начиная с нагрузки $P_0=0,2 \cdot P_{и}$. Испытательная нагрузка $P_{и}=1,2 \cdot P_w$ (согласно ВСН 506–88).

11. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ АНКЕРОВ

1. Изготовление грунтовых анкеров должны проводить организации, имеющие опыт геотехнических работ не менее пяти лет.
2. При изготовлении следует освидетельствовать:
 - плано-высотную привязку свай ограждения котлована;
 - диаметр и глубину скважин на соответствие проекту;
 - вид грунта в основании анкера и его соответствие учтенному проектом (по остаткам на элементах бурового инструмента в основании);
 - уплотнение грунта в основании сваи ЭРТ, разрушенного буровым инструментом;
 - соответствие анкерного каркаса проекту (длина, диаметр и класс арматуры рабочих стержней, узлы соединения стержней) и глубину погружения каркаса в скважину;
 - качество приготавливаемого цементного раствора (расход материалов);
 - затруднения при погружении анкерного каркаса под собственным весом в скважину (свободное погружение арматурного каркаса до проектной отметки свидетельствует об отсутствии в скважине пережимов грунта и гарантирует сплошность ствола корня);
 - погружение электродной системы;
 - расход цементного раствора, используемого при производстве анкеров ЭРТ.
3. Контроль прочности мелкозернистого бетона осуществлять по ГОСТ 18105–2010 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности» и ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» путем отбора проб цементного раствора на месте ее изготовления и последующего твердения в нормальных условиях, отвечающих требованиям п. 4.3.2 ГОСТ 10180–2012.
4. Акты освидетельствования скрытых работ оформляются по форме, оговоренной в СП 48.13330.2019 «Организация строительства. СНиП 12-01–2004», должны составляться на завершённый процесс (анкер), выполненный самостоятельным подразделением исполнителей (комплексной бригадой) в течение смены.
5. Не допускается выполнение последующих работ при отсутствии оформленных актов на скрытые работы на завершённые технологические процессы по изготовлению анкеров ЭРТ, не освидетельствованные техническим надзором заказчика.
6. Геотехнические работы производить в соответствии с СП 45.13330.2017, СП 72.13330.2016, СП 70.13330.2012, СП 48.13330.2019, СП 49.13330.2010, СНиП 12-04–2002, ТР 50-180-06, проектом производства работ (ППР).

Выводы

Буроинъекционные сваи и грунтовые анкера ЭРТ, являясь заглубленными железобетонными конструкциями ограждения котлована при строительстве шестиэтажного жилого дома, позволили возвести объект без негативных последствий для зданий окружающей застройки.

Алгоритм устройства грунтовых анкеров ЭРТ апробирован на множестве объектов геотехнического строительства. Он является обязательным при изготовлении буроинъекционных анкеров ЭРТ.

Список литературы / References

1. Ilchev V.A., Konovalov P.A., Nikiforova N.S., Bulgakov L.A. Deformations of the retaining structures upon deep excavations in Moscow. *Proc. Of Fifth Int. Conf on Case Histories in Geotechnical Engineering*, April 3–17. New York, 2004, pp. 5–24.
2. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. СПб.: Георекострукция, 2010. 551 с.
2. Ulickij V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Geotekhnicheskoe soprovozhdenie razvitiya gorodov [Geotechnical Support of Urban Development]. Saint Petersburg: Georeconstruction, 2010. 551 p.
3. Ilchev V.A., Nikiforova N.S., Koreneva E.B. Computing the evaluation of deformations of the buildings located near deep foundation trenches. *Proc. of the XVIth European conf. on soil mechanics and geotechnical engineering. Madrid, Spain, 24–27th September 2007. «Geo-technical Engineering in urban Environments»*. Vol. 2, pp. 581–585.
4. Nikiforova N.S., Vnukov D.A. Geotechnical cut-off diaphragms for built-up area protection in urban underground development. *The pros, of the 7th Int. Symp. «Geotechnical aspects of underground construction in soft ground»*, 16–18 May, 2011. tc28 IS Roma, AGI, 2011, No. 157NIK.
5. Ильичев В.А., Мангушев Р.А., Никифорова Н.С. Опыт освоения подземного пространства российских мегаполисов // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2012. № 2. С. 17–20.
5. Ilchev V.A., Mangushev R.A., Nikiforova N.S. Experience of development of russian megacities underground space. *Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov*. 2012. No. 2, pp. 17–20. (In Russian).
6. Nikiforova N.S., Vnukov D.A. The use of cut off of different types as a protection measure for existing buildings at the nearby underground pipelines installation. *Proc. of Int. Geotech. Conf. dedicated to the Year of Russia in Kazakhstan*. Almaty, Kazakhstan, 23–25 September 2004, pp. 338–342.
7. Мангушев Р.А., Бояринцев А.В., Зуев И.И., Камаев И.С. Эффект воздействия изготовления свай «Фундекс» на ранее выполненные конструкции // *Жилищное строительство*. 2021. № 9. С. 28–35. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-9-28-35>

7. Mangushev R.A., Boyarintsev A.V., Zuev I.I., Kamaev I.S. Effect of the impact of making “Fundex” piles on previously completed structures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 9, pp. 28–35. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-9-28-35>
8. Мангушев Р.А., Никифорова Н.С. Технологические осадки зданий и сооружений в зоне влияния подземного строительства. М.: АСВ, 2017. 168 с.
8. Mangushev R.A., Nikiforova N.S. Tekhnologicheskiye osadki zdaniy i sooruzheniy v zone vliyaniya podzemnogo stroitel'stva. Pod red. R.A. Mangusheva [Technological settlements of buildings and structures in the zone of influence of underground construction. Edited by R.A. Mangushev]. Moscow: ASV. 2017. 168 p.
9. Petrukhin V.P., Shuljatjev O.A., Mozgacheva O.A. Effect of geotechnical work on settlement of surrounding buildings at underground construction. *Proceedings of the 13th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Prague, 2003.
10. Мангушев Р.А., Ершов А.В., Осокин А.И. Современные свайные технологии. М.; СПб.: АСВ, 2010. 260 с.
10. Mangushev R.A., Ershov A.V., Osokin A.I. Sovremennyye svaynye tekhnologii [Modern pile technologies]. Moscow, Saint Petersburg: ASV. 2010 260 p.
11. Соколов Н.С. Технологические аспекты увеличения надежности существующих подпорных стен // *Жилищное строительство*. 2022. № 1–2. С. 56–59. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-1-2-56-59>
11. Sokolov N.S. Technological aspects of increasing the reliability of existing retaining walls. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2022. No. 1–2, pp. 56–59. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-1-2-56-59>
12. Sokolov N.S. Ground Ancher Produced by Elektric Discharge Technology, as Reinforced Concrete Structure. *Key Enginiring Materials*. 2018. June. 771:75-81. DOI: [10.4028/www.scientific.net/KEM.771.75](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.771.75)
13. Sokolov N.S. Use of the Piles of Effective Type in Geotechnical Construction. *Key Enginiring Materials*. 2018 June. 771:70-74. DOI: [10.4028/www.scientific.net/KEM.771.70](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.771.70)
14. Соколов Н.С. Один из случаев усиления основания деформированной противооползневой подпорной стены // *Жилищное строительство*. 2021. № 12. С. 23–27. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-12-23-27>
14. Sokolov N.S. One of the cases of strengthening the base of a deformed landslide protection retaining wall. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 12, pp. 23–27. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-12-23-27>

Требования к статьям, направляемым для публикации в журнал «Строительные материалы»[®]

Уважаемые авторы!

Приступая к оформлению статьи для журнала внимательно ознакомьтесь с правилами и рекомендациями, размещенными на сайте издательства. Как подготовить к публикации научно-техническую статью см. раздел <https://journal-cm.ru/index.php/ru/avtoram>

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями издания:

– текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc или *.rtf;

– графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.cdr, *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;

– иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться:

- рекомендательным письмом руководителя предприятия (института);
- лицензионным договором о передаче права на публикацию;
- распечаткой, лично подписанной ВСЕМИ авторами;
- рефератом объемом не менее 150 слов на русском и английском языках;
- подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы»[®], ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания;
- сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов (заполненная информационная карта).

Особое внимание библиографическим спискам!

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНиПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.

2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–5 лет в ведущих научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.

2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние 5 лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.



Цвет / Требования к глине	Химическое наименование	Страна происхождения	Состав	Внешний вид изделия	Внешний вид реагента
От коричневого до черного / светлые и красные обжигаемые глины Температурная обработка 900 °С - 1200 °С	Тетраоксид марганца	ЮАР	Mn ₃ O ₄ ~97% Mn > 65%		
	Тетраоксид марганца	Ю.КОРЕЯ	Mn ₃ O ₄ ~97% Mn > 65%		
	Диоксид марганца, водная суспензия	ГРУЗИЯ	MnO ₂ 75% Mn > 46%		
	Диоксид марганца, порошок	ЮАР	MnO ₂ 75-85% Mn > 46%		
Серый/светлые обжигаемые глины Температурная обработка > 1100 °С	Триоксид хрома, порошок	ЮАР	Cr ₂ O ₃ > 45%		
От красного до пурпурного / белые, желтые, красные обжигаемые глины Температурная обработка 900 °С ≥ 1200 °С	Триоксид железа, порошок	ЕС	Fe ₂ O ₃ > 95%		
	Триоксид железа, порошок	РОССИЯ	Fe ₂ O ₃ > 98%		
Добавка в глиномассу при производстве кирпича, для борьбы с высолами на поверхности изделия	Барий углекислый, порошок	КИТАЙ	<i>высокоактивный</i> 0.4-0.6 г/см ³ <i>легкий</i> 0.8-1.2 г/см ³ <i>тяжелый</i> 1.75 г/см ³		
Для борьбы с карбонатными солями (ванадия и прочие) методом ваннокупания	Калий углекислый, кальцинированный, порошкообразный	ЕС Ю.КОРЕЯ	Fe ₂ O ₃ >95%		
Гидрофобизация, повышение морозостойкости, борьба с высолами	ГКЖ-11Н ГКЖ-11К	РОССИЯ	Si ≥ 4%		

+7 (495) 640-23-29

127018, ул. Суцевский вал, д. 43 стр2

info@himlogistik.com

<https://himlogistik.com>





Конструкторская
разработка



Запасные
части



Отдел
продаж



Услуги
технического
содействия



Подтверждение
технической
пригодности

Verdés

Каждый шаг процесса
рядом с вами



Производство



Лабораторные
испытания



Управление
проектированием