

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

ISSN 0585-430X (Print)
ISSN 2658-6991 (Online)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] № 12



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU ДЕКАБРЬ 2020 г. (787)

**ВЫШНЕ
ВОЛОЦКАЯ
КЕРАМИКА**
КИРПИЧНЫЙ ЗАВОД



-  **ПРОЧНЫЙ**
M > 200
-  **МОРОЗОСТОЙКИЙ**
F > 200
-  **ЭКОЛОГИЧНЫЙ**
195 ± 14 Бк/кг

www.vceramica.ru

Реклама



**Вышневолоцкая керамика –
основа долговечности вашего дома**

23–24 июня 2021 г.
г. Тверь, Россия
Гранд отель «ЗВЕЗДА»



June 23–24, 2021
Tver, Russia
Grand hotel «ZVEZDA»

THE SCIENTIFICALLY-PRACTICAL CONFERENCE
«DEVELOPMENT OF THE CERAMIC INDUSTRY OF RUSSIA»

KERAMTEX



Партнеры МИАП KERAMTEX / KERAMTEX' partners



Посещение «Вышневолоцкого кирпичного завода»
Visit to «Vyshnevolotsky brick factory»



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® № 12

Основан в 1955 г.

(787) Декабрь 2020 г.

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

Отрасль в современных условиях

А.А. СЕМЁНОВ

Российский рынок керамического кирпича. Тенденции и перспективы развития 4

Керамические строительные материалы

Традиционная встреча российских керамиков (Информация) 6

Испанское машиностроение на службе у ростовского производителя
строительной керамики (Информация) 14

В.И. ЩИКАЛЬЦОВА, Ю.Т. ПЛАТОВ, В.А. РАССУЛОВ, Р.А. ПЛАТОВА, Е.Ю. РОМАНОВА

Оценка цвета лицевого кирпича методом UV-VIS-NIR-спектроскопии 16

Ю.А. БОЖКО, К.А. ЛАПУНОВА

О развитии brick-дизайна в России 21

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

Расчет состава гранулированных шихт для декоративной стеновой керамики 25

Материалы и конструкции

Л.А. АБДРАХМАНОВА, К.Р. ХУЗИАХМЕТОВА, Р.К. НИЗАМОВ, В.Г. ХОЗИН

Модификаторы для жестких поливинилхлоридных композиций строительного назначения 34

А.В. КАКЛЮГИН, Л.И. КАСТОРНЫХ, Н.С. СТУПЕНЬ, В.В. КОВАЛЕНКО

Прессованные композиты на основе модифицированного гипсового вяжущего
повышенной воздухоустойчивости 40

В.Н. НИКОЛАЕВ, В.Ф. СТЕПАНОВА, А.В. МИХАЙЛОВА

Инновационные энергосберегающие сэндвич-панели для индустриального строительства 47

С.А. МАЛБИЕВ, С.В. ФЕДОСОВ

Температурные воздействия на полимерные конструкции навесов
для инверсионных кровель многоэтажных жилых зданий 52

Р.С. ОЛЬФАТИ

Проектирование стальных конструкций в сейсмических условиях 58

Результаты научных исследований

Н.С. СОКОЛОВ

Разрядно-импульсная геотехническая электроразрядная технология усиления оснований 63

Г.Н. МАМЕДОВ, И.Г. СУЛЕЙМАНОВА, Б.М. ТАГИРОВ

Высокоэффективный легкий наполнитель из стеклосодержащих отходов 66

Указатель статей, опубликованных в журнале «Строительные материалы»® в 2020 г.,
см. на сайте: https://journal-cm.ru/images/files/2020/Ukazatel_SM_2020-new.pdf



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'NYYE MATERIALY® № 12

Founded in 1955

(787) December 2020

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

Industry under present conditions

A.A. SEMENOV

Russian Market of Ceramic Bricks. Development Trends and Prospects 4

Ceramic building materials

Traditional Meeting of Russian Ceramicists (Information) 6

**Spanish Mechanical Engineering in the Service of the Rostov Manufacturer
of Construction Ceramics (Information)** 14

D.I. SHCHIKALTSOVA, Yu.T. PLATOV, V.A. RASSULOV, R.A. PLATOVA, E.Yu. ROMANOVA

Color Assessment of Facing Brick by UV-VIS-NIR Spectroscopy 16

Yu.A. BOZHKO, K.A. LAPUNOVA

About the Development of Brick-Design in Russia 21

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

Calculation of the Composition of Granular Charges for Decorative Wall Ceramics 25

Materials and structures

L.A. ABDRAKHMANOVA, K.R. KHUZIAKHMETOVA, R.K. NIZAMOV, V.G. KHOZIN

Modifiers for Rigid Polyvinylchloride Compositions of Building Purpose 34

A.V. KAKLYUGIN, L.I. KASTORNYKH, N.S. STUPEN, V.V. KOVALENKO

**Press-Formed Composites with Alternate Wetting and Drying Resistance Based
on Modified Gypsum Binder** 40

V.N. NIKOLAEV, V.F. STEPANOVA, A.V. MIKHAILOVA

Innovative Energy-Saving Sandwich-Panels for Industrial Construction 47

S.A. MALBIEV, S.V. FEDOSOV

**Temperature Effects on Polymer Structures of Canopies for Inversion Roofs
of Multi-Storey Residential Buildings** 52

R.S. OLFATI

Design of Steel Structures in Seismic Conditions 58

Results of scientific research

N.S. SOKOLOV

Discharge-Pulse Geotechnical Electro Discharge Technology of Bases Strengthening 63

H.N. MAMMADOV, I.H. SULEYMANOVA, B.M. TAHIROV

High-Effective Lightweight Aggregate Obtained from Glass-Containing Waste 66

Редакционный совет

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)

ВАЙСБЕРГ Л.А.,

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

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)

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)

ЧЕРНЫШОВ Е.М.,

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

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)

Editorial Board

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)

VAYSBERG L.,

Doctor of Science (Engineering), Academician of RAS (St. Petersburg)

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)

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)

CHERNYSHOV E.,

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

SHEBL S.M.,

Doctor of Science, Professor (Egypt)

SHLEGEL I.,

Candidate of Science (Engineering), OOO «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/>

Российский рынок керамического кирпича. Тенденции и перспективы развития

Приведены сведения о состоянии и основных тенденциях развития российского рынка керамического кирпича. Представлены данные о структуре строительства жилых домов по используемым стеновым материалам, оценена региональная структура спроса на керамический кирпич. Дан прогноз развития рынка в 2021–2022 гг. Отмечается, что с конца 2018 г. в России существенно выросли темпы жилищного строительства из-за перехода с середины 2019 г. на финансирование через эскроу-счета и отказа от ДДУ. Положительная динамика сохранялась и в 2019–2020 гг., что дополнительно было связано со снижением ключевой ставки ЦБ, введением в 2020 г. программы льготной ипотеки и реализацией программ поддержки строительного комплекса в условиях пандемии COVID-19. Как результат – рост объемов производства керамического кирпича более чем на 3% в 2019 г. и примерно на 2% за 9 месяцев 2020 г. При этом установлено, что из-за неблагоприятной рыночной конъюнктуры количество действующих в России керамических заводов существенно сократилось (с 557 – в 2014 г. до 310 – в 2019 г.).

Ключевые слова: керамический кирпич, анализ рынка, состояние отрасли.

Для цитирования: 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>

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

Russian Market of Ceramic Bricks. Development Trends and Prospects

The article provides information about the state and main trends in the development of the Russian market of ceramic bricks. Data on the structure of construction of residential buildings based on the wall materials used are presented, and the regional structure of demand for ceramic bricks is estimated. The forecast of market development in 2021–2022 is presented. It is noted that from the end of 2018, the pace of housing construction in Russia increased significantly due to the transition from mid-2019 to financing through escrow accounts and the rejection of EPA (Equity Participation Agreement). The positive dynamics continued in 2019–2020, which was additionally associated with a reduction in the Central Bank's key rate, the introduction of a preferential mortgage program in 2020, and the implementation of programs to support the construction complex in the context of the COVID-19 pandemic. As a result, the production of ceramic bricks increased by more than 3% in 2019 and by about 2% in the first 9 months of 2020. At the same time, it was found that due to unfavorable market conjuncture, the number of ceramic plants operating in Russia has significantly decreased (from 557 in 2014 to 310 in 2019).

Keywords: ceramic bricks, market analysis, state of industry.

For citation: 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>

С 2015 по 2018 г. на фоне общего снижения объемов строительства в России наблюдалось сокращение объемов производства и потребления всех видов стеновых материалов. За этот период производство керамического кирпича в стране сократилось на 29%, силикатного кирпича – на 53%, блоков из автоклавного газобетона – на 10%. С конца 2018 г. в стране существенно активизировалось жилищное строительство из-за перехода с середины 2019 г. на финансирование через эскроу-счета и отказа от ДДУ. Положительная динамика сохранялась и в 2019–2020 гг., что дополнительно было связано со снижением ключевой ставки ЦБ, введением в 2020 г. программы льготной ипотеки и реализацией программ поддержки строительного комплекса в условиях пандемии COVID-19. Как результат – рост объемов производства керамического кирпича более чем на 3% в 2019 г. и примерно на 2% за 9 месяцев 2020 г.

При этом стоит отметить, что из-за неблагоприятной рыночной конъюнктуры количество действу-

ющих в России керамических заводов существенно сократилось. Так, если в 2014 г., по данным Росстата, в стране действовало 557 кирпичных заводов суммарной мощностью 8,7 млрд усл. кирпичей, то в 2019 г. их осталось всего 310 суммарной мощностью около 5,9 млрд усл. кирпичей.

Если рассмотреть общую структуру строительства жилых зданий по используемым видам стеновых материалов, то можно отметить стабильное сокращение доли вводимых жилых домов с кирпичными стенами на фоне роста монолитного домостроения. Так, по итогам 2019 г. доля кирпичных домов снизилась менее чем до 29%. При этом в данном сегменте рынка помимо керамического учитывается и силикатный кирпич (рис. 1).

Как результат – существенное изменение структуры спроса на стеновые материалы. Так, за период с 2014 по 2020 г. доля потребления керамического кирпича в общей структуре потребления штучных стеновых материалов снизилась на 3 процентных пункта до 38%.

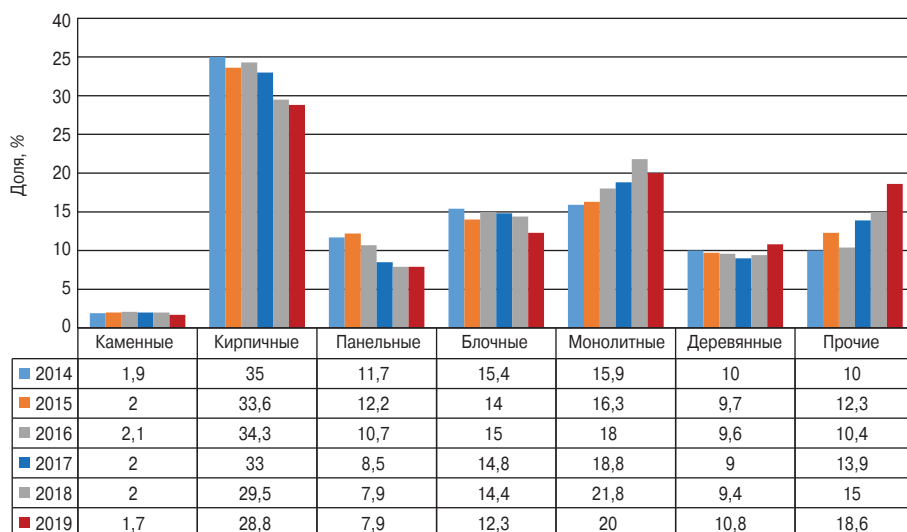


Рис. 1. Структура строительства жилых домов по видам используемых стеновых материалов в 2014–2019 гг.

Fig. 1. The structure of the construction of residential buildings by types of wall materials used in 2014–2019

При этом стоит отметить, что в Сибирском и Северо-Кавказском федеральных округах доля применения керамического кирпича в жилищном строительстве все еще остается выше 50%. А в Приволжском федеральном округе наблюдается увеличение доли применения керамического кирпича на фоне ее снижения во всех остальных округах (рис. 2).

Основными факторами, влияющими на дальнейшее развитие рынка керамического кирпича, станут:

- объемы жилищного строительства (на долю которого приходится порядка 77–78% общей площади строящихся зданий);
- сохранение существующей тенденции изменения структуры применяемых стеновых материалов (рост доли монолитного домостроения и доли применения АГБ в ИЖС, снижение доли применения кирпича);

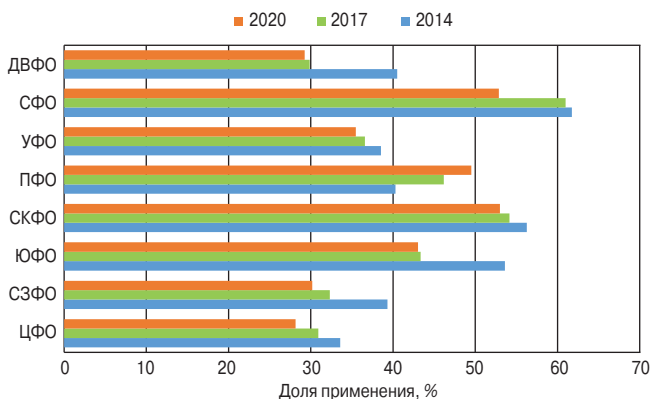


Рис. 2. Региональная структура потребления керамического кирпича в 2014, 2017 и в 2020 гг.

Fig. 3. Regional structure of consumption of ceramic bricks in 2014, 2017 and 2020

– значительные региональные особенности развития рынков стеновых материалов;

– значительное влияние малопрогнозируемых геополитических рисков на российскую экономику;

– влияние пандемии COVID-19 и вероятность сохранения различных ограничительных мер.

Стоит отметить, что влияние пандемии COVID-19 в текущем году существенно затормозило реализацию национального проекта «Жилье и городская среда», целевые показатели по которому (по предварительным данным) сдвинуты на три года. В текущем году объем ввода жилья в

России не превысит уровня 2019 г. В 2021–2022 гг. вероятен умеренный рост данного показателя. Существенными сдерживающими факторами для динамичного роста строительства жилья являются: сохраняющееся падение реальных доходов населения; существенное падение экономики в 2020 г. и низкие прогнозные темпы ее восстановления в 2021–2022 гг., а также дефицит подготовленных под застройку земельных участков и высокие издержки на подключение инженерных коммуникаций.

В то же время значительный отложенный спрос на жилье в условиях снижения процентных ставок по ипотеке и роста объемов ипотечного кредитования, а также усиливающаяся тенденция к перетоку населения в крупные городские агломерации будут поддерживать устойчивый спрос на жилье. Также существенную поддержку жилищному строительству окажут реализация программ расселения ветхого и аварийного жилья и реализация Программы реновации жилого фонда в Москве и возможное ее масштабирование на регионы. Перспективы роста спроса на керамический кирпич в ближайшие годы также во многом связаны с увеличением объемов строительства индивидуальных жилых домов и роста спроса на качественный облицовочный кирпич и крупноформатные поризованные стеновые блоки.

По оценкам «ГС-Эксперт», при реализации оптимистического сценария развития рынка среднегодовые темпы роста спроса на керамический кирпич в 2021–2022 гг. составят около 2,5%. При реализации пессимистического сценария в 2021 г. будет отмечаться спад спроса на керамический кирпич на 2% в условиях вероятного снижения строительной активности в стране, с последующим началом восстановительного роста с 2022 г.

XIII

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«РАЗВИТИЕ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ»

КЕРАМТЭКС

Традиционная встреча российских керамиков

Завершающийся 2020 г. был уникальным. Стремительно накрывшая мир пандемия коронавирусной инфекции COVID-19 как будто замедлила, а в какой-то момент и вовсе остановила громадный часовой механизм мировой экономики и коммуникаций. Были отменены конференции и симпозиумы, выставки и форумы. Введена дистанционная работа, дистанционное обучение. Динамичное развитие редакционных проектов тоже замерло. Тем не менее мы достойно завершаем этот непростой для всех год. Одним из важнейших событий 2020 г. стало проведение с переносом сроков на несколько месяцев – 7–9 октября, в Ростове-на-Дону XIII Международной научно-практической конференции «Развитие керамической промышленности России: КЕРАМТЭКС-2020».

Traditional Meeting of Russian Ceramicists

The ending year of 2020 was unique. The pandemic of the COVID-19 corona-virus infection that has rapidly covered the world seems to have slowed down and at some point completely stopped the huge clockwork of the global economy and communications. Conferences and symposia, exhibitions and forums were canceled. Remote work and distance learning have been introduced. Of course, the dynamic development of editorial projects has also stopped. Nevertheless, we are finishing this difficult for all year with dignity. One of the most important events of 2020 was the holding, albeit with a postponement of almost a few months – October 7–9, in Rostov-on-Don, the XIII International Scientific and Practical Conference « Development of the Ceramic Industry of Russia: KERAMTEX-2020».



Генеральный спонсор конференции – итальянская компания BONGIOANNI хорошо известна российским производителям керамического кирпича высоким качеством оборудования и оригинальными инженеринговыми решениями. Спонсором выступила также итальянская компания OMS Group – специализирующаяся на упаковке различных материалов и изделий.

Региональными партнерами стали инженерно-строительный факультет Донского государственного технического университета и холдинг АО «Донской кирпич», две производственные площадки которого посетили участники конференции.

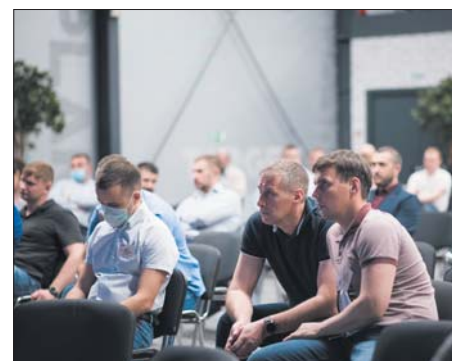
В работе КЕРАМТЭКС-2020 приняли участие более 100 руководителей и ведущих специалистов 26 кирпичных заводов из 20 регионов России; ученые из четырех вузов, работающие в области строительной керамики, а также представители ведущих машиностроительных и инженеринговых компаний из Германии, Греции, Испании и Италии. Конечно, в условиях ограничительных мер, направленных на противодействие распространению инфекции, преимущество было у тех компаний, которые имеют дочерние подразделения или постоянные представительства на территории России, так как иностранные коллеги, к сожалению, не смогли лично принять участие в конференции.



Открыл конференционную программу ставший традиционным **симпозиум «Наука – керамическому производству»**. В его работе приняли участие ученые вузов и НИИ, среди которых три доктора наук – керамика; заводские технологи. На основании требований рынка в этом году научный упор был сделан на возможности производства керамических строительных материалов с высокой добавленной стоимостью. Ученые и технологи как никто понимают, что эра керамического кирпича как рядового строительного материала близится к закату. Главным его преимуществом становятся высокие декоративные свойства и поистине неограниченные возможности для создания формы, фактуры и цветовых решений.



С учетом истощения запасов высококачественного традиционного глинистого сырья главной задачей сотрудничества ученых и технологов становится эффективное использование в производстве техногенных ресурсов. Большое значение для таких форматов, как симпозиум КЕРАМТЭКС, имеет личное общение ученых, их учеников-аспирантов, студентов, которым только предстоит выбрать дальнейшее направление в профессии, и заводских технологов. Обсуждения докладов и дискуссии по актуальным для производителей темам позволяют найти взаимопонимание между людьми и перспективы реального взаимодействия науки и практики. В этом одна из главных миссий журнала «Строительные материалы»®.



В рамках пленарной программы конференции обсуждается широкий круг вопросов, касающихся всех переделов технологии, оборудования, нормативной базы, а также перспектив дальнейшего применения керамических стеновых материалов.

Декан инженерно-строительного факультета, канд. техн. наук *Х.С. Явруян*, открывая конференцию, передал пожелания успешной работы от ректора Б.Ч. Месхи и познакомил с историей Ростовского государственного технического университета, начавшейся в далеком 1930 г. С 2015 г. его частью является инженерно-строительный факультет. О работе кафедры строительных материалов рассказал заведующий, д-р техн. наук *В.Д. Котляр*. В настоящее время кафедра является одним из центров керамической науки России. Созданный на кафедре испытательный центр «Академстройиспытания» аккредитован в системе Росаккредитации и может проводить испытания глинистого сырья, кирпича и керамического камня, строительного раствора, керамической плитки и черепицы. Сотрудники кафедры плодотворно работают с керамическими предприятиями не только Ростовской области, но и многих регионов России.

Коллеги с кафедры строительных материалов были нашими партнерами и помощниками при организации конференции в Ростове-на-Дону.





Для представления преимуществ оборудования компании **BONGIOANNI Maccine S.p.A.** региональный представитель *Т. Русских* использовала прием своеобразного возвращения к истокам. Она напомнила, какие технологические факторы и их взаимосвязь влияют на качество продукции на каждом технологическом переделе. Подробно были рассмотрены физические процессы в каждом элементе вакуумного пресса и показано, что конструкция экструдеров **BONGIOANNI** позволяет достигать максимального качества сырцового бруса. Это в свою очередь определяет поведение кирпичасырца в сушке.

В.В. Юрченко, генеральный директор **ООО «ОМС Восток»**, – постоянный участник конференции. Он рассказал коллегам о достойной истории компании, более 70 лет разрабатывающей лучшие упаковочные решения для различных производственных областей. **OMS Group** – мировой лидер в производстве упаковочного оборудования и единственная компания, изготавливающая все типы оборудования для групповой упаковки. Только в России около 200 клиентов успешно эксплуатируют 380 единиц упаковочного оборудования, из которых 138 – в секторе строительства и производства строительных материалов.

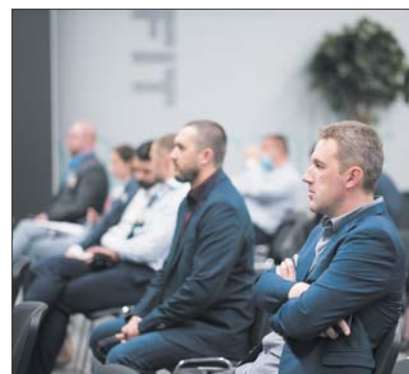
Оригинальным завершением доклада было сообщение об интересном и значимом астрологическом факте: в 2020 г. планеты Сатурн и Плутон не просто встали в одну линию, что случается каждые 34–38 лет, но и произошло это в знаке Козерога. Такое соединение в предыдущий раз случилось несколько сотен лет назад. Соединение Плутона и Сатурна в Козероге в 2020 г. ознаменовало начало не только новой астрологической эры, но и тридцатилетнего цикла, способствующего полной перестройке мира бизнеса, политики и власти.

Для немецкой компании **HÄNDLE** 2020 г. стал годом 150-летнего юбилея. За это время небольшая ремесленная мастерская превратилась в лидера специализированного оборудования. К сожалению, пандемия не позволила коллегам из Германии приехать на конференцию, поэтому интересы компании представляли **ООО «Хендле-Браун»** (Санкт-Петербург) и **ООО «Хендле-Урал»** (Челябинск).



Керамическое производство становится все более технологичным. Следом за автоматизацией и роботизацией приходят цифровые технологии управления процессами, в том числе удаленно. Об этом говорили коммерческий представитель компаний **SABO** (Греция) *Я. Гурованов* (единственный зарубежный участник конференции) и коммерческий инженер испанской компании **VERDES** *О.Н. Бондаренко*.

Дебютантом КЕРАМТЭК-2020 стало **ООО «Ленинградский подшипник»**. Заместитель генерального директора по развитию *М.В. Деркач* представила подшипники с антифрикционным наполнением и рассказала о потенциале их применения в керамической промышленности.



Традиционно один день конференции отдан выездной сессии – самой желанной части мероприятия. Следует отметить, что в условиях затяжного экономического спада коллегам все более интересны предприятия, длительно работающие без капитального ремонта оборудования, активно использующие собственные инженерные и механические службы для поддержания его в работоспособном состоянии. Конечно, всех интересует оснащенность заводских лабораторий, возможность использовать их для разработки и внедрения новых продуктов.

Благодаря гостеприимству генерального директора Владимира Семеновича Бронштейна мы смогли посетить два кирпичных завода холдинга АО «Донской кирпич».

Шахтинский кирпичный завод «КомСтрой» – крупнейшее предприятие по выпуску рядового кирпича на Юге России. Кирпичный завод в Шахтах появился более 100 лет назад, это одно из старейших предприятий города, обеспечивавшее нужды шахтного строительства. В 1989 г. на его базе было построено новое производство по лицензиям фирм Keller и Morando. В 2004 г. завод вошел в холдинг «Донской кирпич».



Кирпичный завод «Донской кирпич», расположенный в Ростове-на-Дону, основан в 1999 г., его мощность составляет порядка 40 млн шт. усл. кирпича в год. Он оснащен оборудованием немецких фирм «Хендле» и «Келлер» с высокой автоматизацией производственных процессов. На заводе имеется технологическая лаборатория, оснащенная в том числе камерами климатических испытаний. Отметим, что более 20 лет оборудование эксплуатируется без капитального ремонта.





Волнующим приключением для любителей истории промышленности стала возможность посмотреть руинированные остатки кольцевой печи Keller, более 100 лет стоящей на территории современного завода «Донской кирпич».



Завершающийся сложный, тревожный год показал, что деловому и дружескому общению профессионалов в рамках конференции КЕРАМТЭКС не может помешать даже мировая пандемия. В этих условиях коллеги стали еще более ценить живое общение.

Наша жизнь уже не будет прежней, но место встречи российских керамиков ничто не изменит. И место это – КЕРАМТЭКС, так как объединение профессионалов гарантирует успех.

До скорой встречи в Твери, друзья! Оставайтесь с нами!

ООО «Лингл Сервис»

Ваш партнер по сервису и поставкам запасных частей

Предлагаем следующие услуги:

- ✓ Поставки запасных частей и расходных материалов
- ✓ Переоборудование и модернизация
- ✓ Огнеупоры, подовые камни и футеровка печных вагонов
- ✓ Сервисные услуги

10 лет безупречной работы

10 лет гарантированных и надежных поставок

10 тысяч артикулов

10 % скидка до 31.03.2021

«LINGL» – «Лучшая европейская сервисная компания» в 2018 и 2019 гг.



196247, Санкт-Петербург, Ленинский проспект, д. 160, офис 305

Тел./факс: +7 (812) 677 11 69; e-mail: service@lingl.ru

<http://www.lingl.ru>

В издательстве «Стройматериалы» вы можете приобрести специальную литературу

Учебное пособие «Химическая технология керамики»

Авторы – Андрианов Н.Т., Балкевич В.Л., Беляков А.В., Власов А.С., Гузман И.Я., Лукин Е.С., Мосин Ю.М., Скидан Б.С.

Освещены вопросы современного состояния технологии основных видов керамических изделий строительного, хозяйственно-бытового и технического назначения, а также различных огнеупоров. Главное внимание уделено основным процессам технологии керамики и ее свойствам. Подробно изложены характеристика различного сырья, проблемы подготовки керамических масс различного вида и их формование различными методами, особенности механизмов спекания, а также дополнительные виды обработки керамики: металлизация, глазурирование, декорирование, механическая обработка. Детально описаны свойства керамических изделий – механические, деформационные, теплофизические, электрофизические, в том числе при высоких температурах.



Книга «Керамические пигменты»

Авторы – Масленникова Г.Н., Пищ И.В.

В монографии рассмотрены физико-химические основы синтеза пигментов, в том числе термодинамическое обоснование реакций, теория цветности, современные методы синтеза пигментов и их классификация, методы оценки качества. Приведены сведения по технологии пигментов и красок различных цветов и кристаллических структур. Описаны современные методы декорирования керамическими красками изделий из сортового стекла, фарфора, фаянса и майолики. Книга предназначена для научных сотрудников, студентов, специализирующихся в области технологии керамики и стекла, а также для инженерно-технических работников, занятых в производстве керамических изделий и красок.



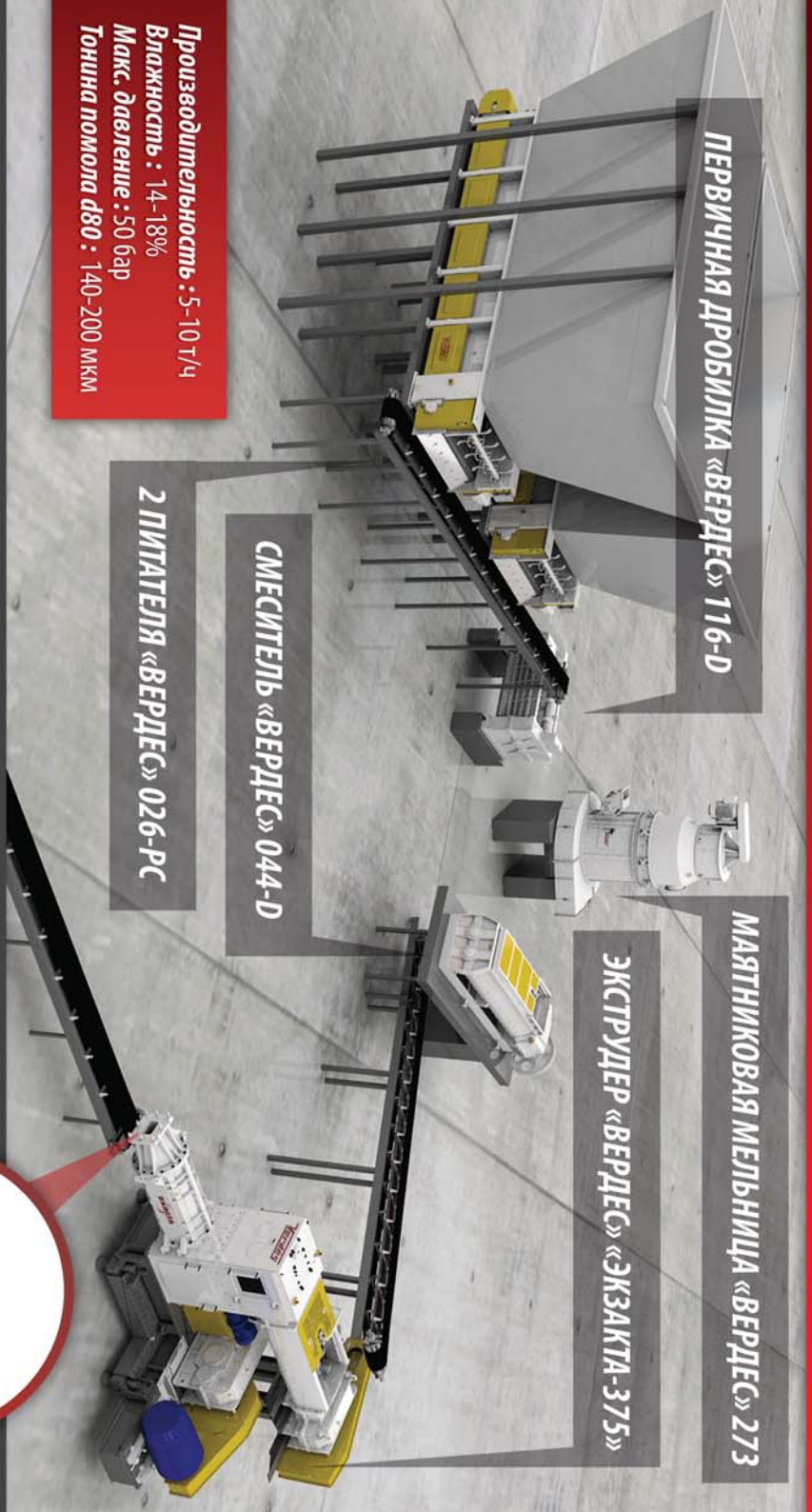
Заявки направляйте в редакцию по e-mail: mail@rifsm.ru,

по тел.: (499) 976-22-08, 976-20-36.

Оформляйте заказ на сайте www.rifsm.ru

Verdes

ЛИНИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЛИНКЕРНОЙ ПЛИТКИ



ПЕРВИЧНАЯ ДРОБИЛКА «ВЕРДЕС» 116-D

МАТНИКОВАЯ МЕЛЬНИЦА «ВЕРДЕС» 273

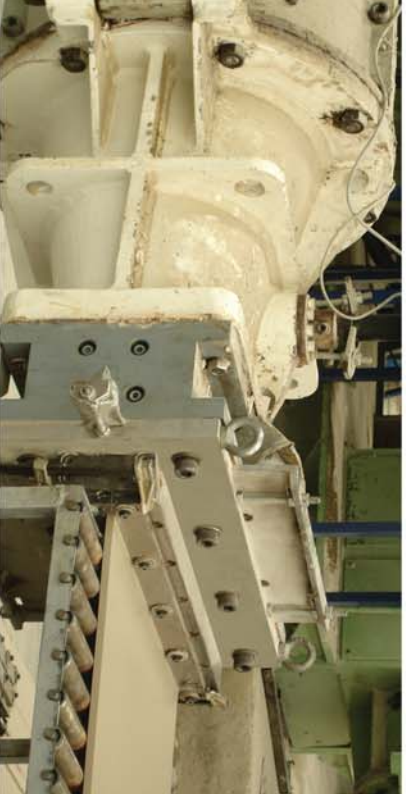
ЭКСТРУДЕР «ВЕРДЕС» «ЭКЗАКТА-375»

СМЕСИТЕЛЬ «ВЕРДЕС» 044-D

2 ПИТАТЕЛЯ «ВЕРДЕС» 026-PC

Производительность : 5-10 т/ч
Влажность : 14-18%
Макс. давление : 50 бар
Тонна помола d80 : 140-200 мкм

ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ С ВЫСОКОЙ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТЬЮ



Реклама



СВЯЖИТЕСЬ С НАМИ ▶

✉ info@verdes.com

☎ +34 93 806 06 06

🌐 www.verdes.com

ИСПАНСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ НА СЛУЖБЕ У РОСТОВСКОГО ПРОИЗВОДИТЕЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ

SPANISH MECHANICAL ENGINEERING IN THE SERVICE OF THE ROSTOV MANUFACTURER OF CONSTRUCTION CERAMICS



Шахтинский кирпичный завод ООО «Комстрой».
Испанские вальцы тонкого помола

Несмотря на стремительно появляющиеся новые строительные материалы и технологии, обычный керамический кирпич по-прежнему остается признанным королем стройки. Его прочность, долговечность, экологичность и комфорт для проживания людей дают основания предполагать, что в обозримом будущем реальной полной альтернативы кирпичу не появится, а спрос на него будет только расти.

В данном контексте неудивительно, что в начале октября 2020 г. участники XVIII Международной научно-практической конференции «Развитие керамической промышленности России: КЕРАМТЭКС-2020» посетили Шахтинский кирпичный завод ООО «Комстрой» в Ростовской области, являющийся крупнейшим предприятием по выпуску рядового кирпича на Юге России.

В настоящий момент на предприятии работают две технологические линии, которые обеспечивают производство более 50 млн шт. усл. кирпича в год.

Предприятие не стоит на месте, постоянно развивая собственное производство.

Так, в сентябре 2014 г. в тесном сотрудничестве с заказчиком испанская производственная компания «Тальерес Фелипе Вердес, С.А.» (Talleres Felipe Verdés, S.A.) произвела, осуществила

поставку, надзор за выполнением монтажных работ и ввод в эксплуатацию двух комплектов вальцов тонкого помола модели FDH-086 с шириной валков 800 мм с гидравлическим прижимом – в каждую из двух параллельных линий формовки, перед каждым из двух прессов.

Уменьшение тонины помола позволило производителю качественно улучшить характеристики производимых изделий. В частности, в результате осуществленной модернизации марка по прочности всего выпускаемого кирпича с пустотностью 12% возросла до М150. С тех пор появилась возможность производить и более тонкостенные изделия (к примеру, керамический камень формата 2,1 НФ), что было невозможно до модернизации.



Полнотелый кирпич производства Шахтинского кирпичного завода ООО «Комстрой»

Результаты шести лет непрерывной эксплуатации вальцов красноречиво подтвердили обоснованность выбора, сделанного руководителями предприятия в отношении использованного рационального технического решения данной модернизации, типа примененного оборудования, а также его производителя.

Шахтинский кирпичный завод наряду с «Донским кирпичом» и Гуковским кирпичным заводом (завод полусухого прессования) входит в состав группы предприятий, работающих под единой торговой маркой, – крупнейшего в регионе производителя керамического кирпича, выпускающего 140 млн шт. усл. кирпича в год.

АО «Тальерес Фелипе Вердес, С.А.» (Барселона, Испания) занимается разработкой, производством, поставкой, запуском в эксплуатацию, гарантийным и послегарантийным техническим обслуживанием технологического оборудования приемных отделений, отделений массоподготовки, шихтозапасников и формовочных отделений предприятий по производству стеновой и кровельной керамики.

На сегодняшний день компания является одним из старейших и наиболее известных в мире производителей оборудования для производства стеновой и кровельной керамики.

Представительство АО «Тальерес Фелипе Вердес, С.А.»
в России и странах СНГ

Российская Федерация, 119021, г. Москва, ул. Льва Толстого, д. 5/1
(деловой центр «Хамовническая слобода»), офис В-710 (7-й этаж)
russia@verdes.com www.verdes.ru

Talleres-Felipe-Verdés, S.A.

C/Metalurgia, 2
08788-Vilanova-del-Camí
(Barcelona)-SPAIN
www.verdes.com

Verdés

В.И. ШИКАЛЬЦОВА¹, главный технолог (v.shchikaltsova@mon-arch.ru);
Ю.Т. ПЛАТОВ², д-р техн. наук (Platov.YT@rea.ru); В.А. РАССУЛОВ³, канд. геол.-мин. наук (rassulov@mail.ru);
Р.А. ПЛАТОВА², канд. техн. наук (raisa.platova@yandex.ru),
Е.Ю. РОМАНОВА², магистрант (katji_romanova1996@mail.ru)

¹ ОАО «Гжельский кирпичный завод» (140156, Московская обл., Раменский р-н, пос. Гжель)

² Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова (117997, г. Москва, Стремянный пер, 36)

³ Всероссийский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского (119017, г. Москва, Старомонетный пер, 31)

Оценка цвета лицевого кирпича методом UV-VIS-NIR-спектроскопии

Методом UV-VIS-NIR-спектроскопии диффузного отражения проведены исследования изменения окраски лицевого кирпича от содержания добавки тетраоксида марганца (Mn_3O_4) в составе керамической массы. По UV-VIS-NIR-спектрам окрашенного кирпича установлено, что при увеличении содержания добавки происходит как уменьшение интенсивности полос поглощения, соответствующих гематиту, так и увеличение интенсивности поглощения со сдвигом максимума широкой полосы поглощения от видимого до ближнего инфракрасного диапазона спектра. По изменению значений координат цвета в системах CIEL*a*b* и Манселла – светлоты и цветности и значений показателя – относительной красящей способности выявлено, что окраска кирпича зависит от соотношения двух пигментов: желтовато-красного гематита и черного, вероятно, якобсита в его составе.

Ключевые слова: лицевой кирпич, объемное окрашивание, UV-VIS-NIR-спектр, система CIEL*a*b*, цветовая система Манселла, пигмент.

Для цитирования: Шикальцова В.И., Платов Ю.Т., Рассулов В.А., Платова Р.А., Романова Е.Ю. Оценка цвета лицевого кирпича методом UV-VIS-NIR-спектроскопии // *Строительные материалы*. 2020. № 12. С. 16–20. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-16-20>

D.I. SHCHIKALTSOVA¹, Chief Technologist (v.shchikaltsova@mon-arch.ru); Yu.T. PLATOV², Doctor of Sciences (Engineering) (Platov.YT@rea.ru); V.A. RASSULOV³, Doctor Sciences (Geology and Mineralogy) (rassulov@mail.ru); R.A. PLATOVA², Candidate of Sciences (Engineering) (raisa.platova@yandex.ru); E.Yu. ROMANOVA², undergraduate student (katji_romanova1996@mail.ru)

¹ "Gzhel brick plant" JSC (140156, Moscow region, Ramenskiy district, settlement Gzhel)

² Plekhanov Russian University of Economics (117997, Moscow, Stremyanny lane, 36)

³ All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky (119017, Moscow, Staromonetny lane, 31)

Color Assessment of Facing Brick by UV-VIS-NIR Spectroscopy

Diffuse reflection UV-VIS-NIR spectroscopy was used to study changes in the color of facing bricks from the content of the additive of manganese tetraoxide (Mn_3O_4) into the ceramic mass. This investigation was shown that with an increase of the additive content, both the intensity of the absorption bands of colored bricks corresponding to hematite decreases, and the absorption intensity increases with a shift in the maximum of the wide absorption band from the visible to the near-infrared range of the spectrum. By changing the values of the color coordinates in the CIE L*a*b* and Munsell systems: lightness and color, and the values of the indicator-relative color ability, it is fixed that the color of a brick depends on the ratio of two pigments: yellowish-red of hematite and black, probably jacobite in its composition.

Keywords: facing brick, volumetric coloring, UV-VIS-NIR-specter, system CIEL*a*b*, system Munsell color, pigment.

For citation: Shchikaltsova D.I., Platov Yu.T., Rassulov V.A., Platova R.A., Romanova E.Yu. Color assessment of facing brick by UV-VIS-NIR spectroscopy. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 12, pp. 16–20. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-16-20>

Реализация концепции современного дизайна зданий и интерьеров помещений обуславливает необходимость применения окрашенного лицевого керамического кирпича. В России практически не осталось кирпичных заводов, которые не производят лицевой керамический кирпич объемного окрашивания [1]. В условиях жесткой конкуренции на рынке лицевого кирпича соответственно повышаются требования потребителей к его окраске. Окраска керамического кирпича изменяется от темно-красного, красно-коричневого, желтого и вплоть до черного и зависит от многих факторов: состава минерального сырья, включая красящие примеси в составе сырьевых материалов [2–4]; условий обжига [5, 6]; количества и состава окрашивающих добавок [7] и технологии окрашивания [8]. При введении окрашивающих добавок с учетом их взаимодействия с примесями, входящих в состав керамической массы, интервал значений цветовых характеристик значительно увеличивается [8].

Для обеспечения стабильности качества керамического кирпича объемного окрашивания возникла необходимость применения инструментальных методов спецификации цвета для контроля и регулирования характеристик, определяющих его окраску [3, 9–11].

При инструментальной спецификации цветовых характеристик керамических изделий чаще используются рекомендованную Международной комиссией по освещению (CIE – Commission International de l'Éclairage) колориметрическую систему CIEL*a*b* 1976 (CIE S 014-4/E–2017). С помощью инструментальной спецификации окраски керамического кирпича осуществляются различные операции: воспроизведение эталонной окраски с определением цветовых различий, колориметрический контроль при разработке состава массы и при производстве изделий [9].

При оценке окраски керамического кирпича необходимо учитывать, что красящие соединения, как входящие в состав массы, так и в виде окрашиваю-

щих добавок, имеют полосы поглощения в ультрафиолетовом (UV), видимом (VIS) и инфракрасном диапазоне NIR-спектра диффузного отражения. Поэтому наряду со спектроколориметрами для контроля и воспроизведения окраски лицевого кирпича стали использовать портативные спектрометры для измерения в UV-VIS-NIR-области спектра в диапазоне диффузного отражения [12, 13].

Сочетание методов оптической спектроскопии и многомерного статистического контроля процессов (Multivariate Statistical Process Control, MSPC) привело к развитию нового направления, включающего воспроизведение окраски и контроль цветовых характеристик материалов в режиме реального времени на месте (on-line and in situ).

Цель работы

Целью работы явилось спектроколориметрическое изучение механизма объемного окрашивания керамического кирпича с большим содержанием оксидов железа при введении добавки тетраоксида марганца.

Материалы и методы исследования

Материалы. За эталон принят образец красного кирпича, изготовленного по технологии ОАО «Гжельский кирпичный завод». В качестве окрашивающей добавки использовали тонкий коричневый порошок синтетического тетраоксида марганца – продукт линии «Manganese oxide Mn_3O_4 » Color K/S компании Kimpre (Франция), предназначенный для объемного окрашивания керамических изделий из глины при температуре обжига от 800 до 1200°C.

Состав керамической массы для производства красного кирпича включает 90% гжельской глины с содержанием $Fe_2O_3 > 7\%$ [4] и 10% кварцевого песка. Окрашивающую добавку вводили в сухом виде в следующем количестве (сверх 100%): 0,7; 1,3; 2,6 и 3,8%.

Образцы изготавливали методом пластического формования и после сушки обжигали в туннельной печи при максимальной температуре обжига, равной 960°C. Общая продолжительность обжига и охлаждения составила 50 ч.

Окраска керамического кирпича в зависимости от количества окрашивающей добавки в составе шихты изменилась следующим образом: от красной (эталон – образец № 1) до терракотовой, светло-коричневой, коричневой и темноокрашенной (номер образцов от 2 до 5 соответственно). Внешний вид лицевого кирпича представлен на рис. 1.

Оптические свойства и цветовые характеристики. Спектры диффузного отражения в диапазоне 380–750 нм образцов кирпича измеряли на спектроколориметре Color i5 (X-Rite Incorporated, USA) при размере апертуры, равной 25 мм. Спектр диффузного отражения преобразовывали с помощью программы Color iQc при источнике освещения D65 и колориметрическом наблюдателе 10° в координаты двух колориметрических систем: CIEL*a*b* и Манселла [6, 9]. Система CIEL*a*b* имеет следующие координаты:

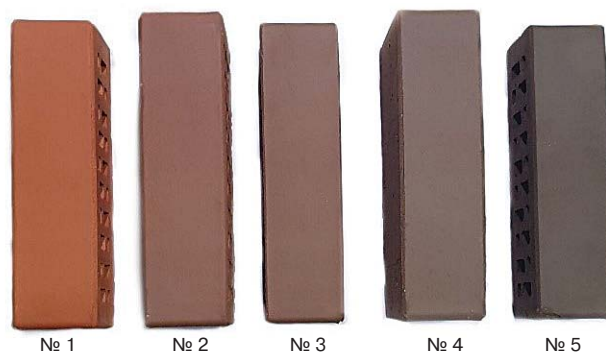


Рис. 1. Внешний вид красного (образец № 1), терракотового (образец № 2), светло-коричневого (образец № 3), коричневого (образец № 4) и темно-коричневого (образец № 5) лицевого кирпича

Fig. 1. External appearance of red (sample No. 1), terracotta (sample No. 2), light brown (sample No. 3), brown (sample No. 4) and dark brown (sample No. 5) facing brick

L^* – светлота, две координаты цветности: a^* – краснота, b^* – желтизна; c^* и h^* коррелируют с психофизическими характеристиками цвета в виде насыщенности и цветового тона. Координаты в цветовой системе Манселла представляют меры цветового тона/светлоты (0–10)/насыщенности (0–10).

Значения относительной красящей способности (relative strength) F_s рассчитаны по спектру диффузного отражения в VIS-диапазоне как отношение красящей способности окрашивающей добавки к красящей способности оксидов железа в составе красного кирпича, принятого за 100% [9, ISO 10545-16:2010(E). Ceramic tiles Part 16: Determination of Small color differences; ISO 11664-4/CIE S 014. Colorimetry. Part 4. CIE 1976 $L^*a^*b^*$ Color space].

Гиперспектры диффузного отражения в UV-VIS-NIR-области (350–2500 нм) поверхности образцов кирпича были измерены с использованием спектрометра Terra Spec 4 Hi-Res (ASD Inc, PANalitical, USA). Это портативный прибор массой 5,44 кг. Спектральное разрешение прибора в диапазоне до 1000 нм составляет около 3 и 6 нм – в остальной части спектра. Управление спектрометром проводится с помощью программы, установленной на портативном компьютере. Апертура исследуемого участка 12 мм. В качестве источника света используется галогеновая лампа с большим сроком службы.

UV-VIS-NIR спектры диффузного отражения R (отн. ед.) образцов керамического кирпича были преобразованы в спектры поглощения, которые показаны на рис. 2.

Результаты и их обсуждение

Цветовые характеристики керамического кирпича колориметрической системы CIEL*a*b* используются для спецификации окраски стеновых керамических изделий, а также для оценки красящей способности пигментов [6, 7, 14]. С помощью этой системы можно установить количественную зависимость между окраской кирпича и составом окрашивающих соединений.

Цветовые характеристики образцов представлены в двух колориметрических системах – CIEL*a*b*

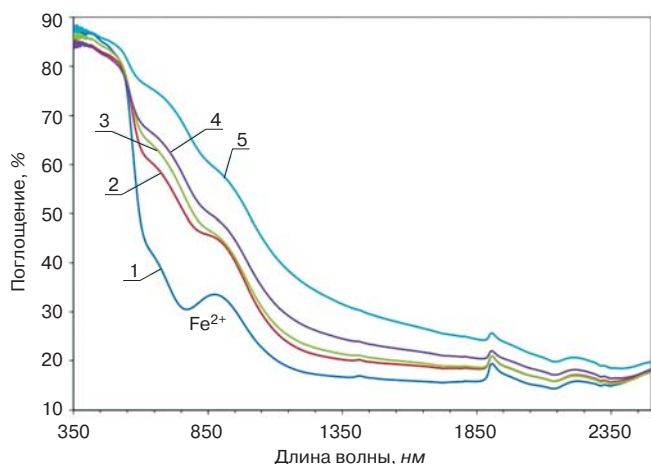


Рис. 2. Изменение спектра поглощения, %, в UV-VIS-NIR диапазоне (350–2500 нм) образцов красного (1) и окрашенного (2–5) лицевого кирпича от содержания добавки тетраоксида марганца (0,7; 1,3; 2,6 и 3,8%) в составе керамической массы

Fig. 2. Changes in the absorption spectrum, %, in the UV-VIS-NIR range (350–2500 nm) of samples of red (1) and colored (2–5) facing bricks from the content of manganese tetraoxide additives (0.7, 1.3, 2.6 and 3.8%) in the ceramic mass

и Манселла (см. таблицу). Значения координат цветности: $a^*=25,2$; $b^*=27,5$ красного керамического кирпича близки к соответствующим координатам порошка гематита $a^*=23,1$; $b^*=23,5$ (таблица). При введении окрашивающей добавки от 0,7 до 3,8 мас. % изменяется окраска керамического кирпича против окраски красного кирпича следующим образом: уменьшаются значения светлоты L^* (от 46 до 42,4 против 52,3) и цветности: краснота a^* (от 15 до 6 против 25,2), желтизна b^* (от 18,4 до 9,38 против 27,5), но при этом увеличиваются значения красящей способности F_s (от 118,8 до 123% с максимумом, равным 144,5%, при содержании добавки 2,6 мас. %). Установлена прямая линейная зависимость ($R^2=0,9981$, рис. 3) между координатами цветности a^* и b^* от содержания вводимой окрашивающей добавки Mn_3O_4 . Аналогично изменяются значения координат образцов окрашенного кирпича в системе Манселла: цветовой тон изменяется от желтовато-красного 2,1 YR до желто-красного 7,3 YR; незначительно снижается светлота (от 5,2 до 4,2) и резко уменьшается насыщенность цвета, до значений, близких к ахроматическим (от 6,8 до 1,8).

Следовательно, пропорционально содержанию окрашивающей добавки Mn_3O_4 уменьшаются значения цветности a^*/b^* . Но при этом увеличивается красящая способность F_s и соответственно уменьша-

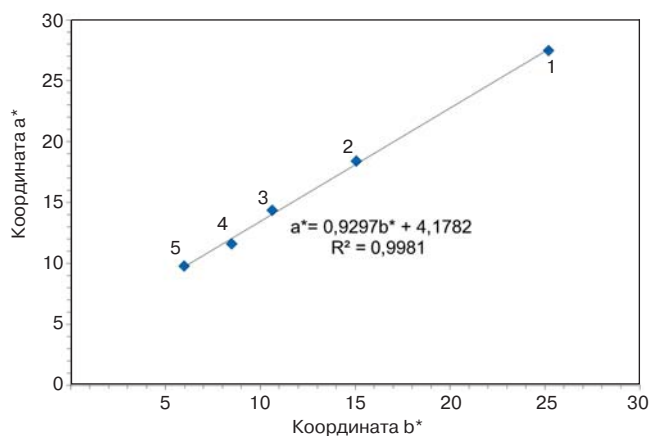


Рис. 3. Изменение значений координат цветности a^* и b^* окрашенного (образцы № 2–5) по сравнению со значениями красного лицевого кирпича (образец № 1) в зависимости от содержания добавки тетраоксида марганца в составе керамической массы

Fig. 3. Changes in the values of the chromaticity coordinates a^* and b^* of the colored brick (samples No. 2–5) compared to the values of the red facing brick (sample No. 1) depending on the content of the manganese tetraoxide additive in the ceramic mass

ется светлота L^* , что свидетельствует о наличии ахроматического красящего соединения в составе образцов окрашенного кирпича (образцы № 2–5).

Изменение UV-VIS-NIR-спектра поглощения отражения окрашенного кирпича от содержания окрашивающей добавки Mn_3O_4 . В UV-VIS-NIR спектре поглощения красного кирпича выделяется несколько полос (рис. 2):

- основная полоса с максимумом $\lambda < 350$ нм в UV-диапазоне, широкий край которой смещается до диапазона 726 нм, принадлежит интенсивной полосе переноса заряда $O^{2-} \rightarrow Fe^{3+}$ [6];

- перечень полос, включая полосу в диапазоне 726–950 нм с максимумом при 880 нм и две слабые полосы с максимумами при $\lambda \sim 680$ и $\lambda \sim 424$, соответствуют по сочетанию и положению в диапазоне VIS-NIR-спектра гематита [13]. Следовательно, основная красящая примесь в составе красного кирпича, согласно данным UV-VIS-NIR-спектра поглощения, соответствует желтовато-красной окраске гематита, что хорошо согласуется с данными других исследований [4–6].

Как показано на рис. 2, спектры поглощения образцов окрашенного кирпича в зависимости от содержания добавки (образцы № 2–5) имеют следующие отличия от спектра красного кирпича (образец № 1):

Цветовые характеристики образцов керамических кирпичей и порошка гематита
Color characteristics of samples of ceramic bricks and hematite powder

Номер образца	Название образца	Координаты CIEL*a*b*					Fs, %	Система Манселла
		L*	a*	b*	c*	h*		
1	Красный	52,3	25,2	27,5	37,3	47,5	100	2.1YR5.2/6.8
2	Терракотовый	46	15	18,4	23,8	50,7	118,8	3.9YR4.5/4.1
3	Светло-коричневый	44	10,6	14,4	17,9	53,5	122	5.1YR4.3/3.0
4	Коричневый	41	8,8,5	11,6	14,4	53,8	144,5	5.6YR4.0/2.3
5	Темно-коричневый	42,4	6	9,3	11,5	58,6	123	7.3YR4.2/1.8
6	Порошок гематита	35,5	23,1	23,5	32,9	45,5	–	–

– значительно уменьшается интенсивность полос поглощения с максимумом при 880 и 680 нм, соответствующих гематиту [13];

– расширяется полоса поглощения в сине-зеленом диапазоне спектра (от 400 до 520 нм), которую приписывают Mn^{3+} [15];

– с увеличением концентрации марганецсодержащей добавки происходит сдвиг поглощения из коротковолнового видимого диапазона в сторону больших длин волн, вплоть до ближнего инфракрасного диапазона спектра [16].

Эти изменения формы кривой спектра поглощения образцов окрашенного кирпича с большим содержанием железа можно объяснить двумя параллельными структурно-фазовыми превращениями при обжиге: растворением гематита и образованием новых окрашивающих соединений, имеющих черный цвет. Окраска керамического кирпича с большим содержанием оксидов железа после обжига в окислительных условиях обусловлена гематитом $\alpha-Fe_2O_3$ и анионами в тетраэдрической форме ($Fe^{+3}O_4$) в стеклофазе и октаэдрами ($Fe^{+3}O_6$) в структуре метакаолинита [5]. В процессе обжига при окислительных условиях глины с большим содержанием оксидов железа и марганца происходит их взаимодействие с образованием новых соединений [17]. Роль ионов марганца в процессе структурно-фазовых преобразований в составе окрашенного кирпича решающая. В керамике такого состава вероятно присутствие трех различных соединений [17]:

– при низком содержании оксидов марганца в расплаве стеклофазы формируется только гематит ($\alpha-Fe_2O_3$), так как он может поглощать до 10% марганца без изменения свойств структуры;

– при увеличении содержания оксидов марганца при температуре обжига выше 950°C в окислительных условиях образуется сложный оксид из группы феррошпинелей, называемый якобитом ($MnFe_2O_4$, jacobsite);

Список литературы

1. Салахов А.М., Морозов В.П., Вагизов Ф.Г., Ескин А.А., Валимухаметова А.Р., Зиннатуллин А.Л. Научные основы управления цветом лицевого кирпича на заводе «Алексеевская керамика» // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 90–95. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-746-3-90-95>
2. Арискина К.А., Арискина Р.А., Салахов А.М., Вагизов Ф.Г., Ахметова Р.Т. Влияние химико-минералогического состава глин на цвет керамических материалов // *Вестник технологического университета*. 2016. Т. 19 (24). С. 25–28.
3. Fedorenko O., Prysiozhna L., Petrov S., Chyrkina M., Boryscako O. Studying the physicochemical regularities in the color and phase formation processes of clinker ceramic materials // *Easten-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 6 (96). pp. 58–65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150659>
4. Руссович-Югай Н.С., Неклюдова Т.Л. Колористическая характеристика легкоплавких глин // *Стекло и керамика*. 2007. № 7. С. 13–15.

– при увеличении содержания оксидов марганца по сравнению с оксидом железа кроме якобсита образуется биксбиит (Mn_2O_3 , bixbyite).

Следовательно, темная окраска керамики после обжига в окислительных условиях с высоким содержанием оксидов железа и марганца связана с наличием черного пигмента якобсита. Этот черный пигмент значительно отличается от черного пигмента, который образуется при восстановительном обжиге глин с большим содержанием оксида железа посредством образования магнетита. Аналогичные явления образования новых соединений отмечены в стеклах с большим содержанием оксидов железа и марганца. В стеклах при увеличении концентрации железа и марганца образуются кластеры, вплоть до формирования наночастиц феррита марганца [18].

Заключение

В процессе обжига керамического кирпича с добавкой триоксида марганца в окислительной среде при 960°C вероятно образование двух пигментов: желтовато-красного гематита и черного пигмента. При увеличении содержания в составе керамической массы тетраоксида марганца Mn_3O_4 происходит как растворение гематита при обжиге, что подтверждается снижением интенсивности соответствующих пиков поглощения, так и образование, вероятно, якобсита, что сопровождается сглаживанием полосы поглощения и сдвигом максимума поглощения от видимого до инфракрасного диапазона (от 726 до 1100 нм). Изменение соотношения двух пигментов в составе окрашенного кирпича приводит, с одной стороны, к снижению координат светлоты L^* (от 52,3 до 42,4) и насыщенности цвета C^* (от 37,3 до 11,5), а с другой – к увеличению красящей способности F_s (от 100 до 144,5%) смеси пигментов.

References

1. Salakhov A.M., Morozov V.P., Vagizov F.G., Eskin A.A., Valimuhametova A.R., Zinnatullin A.L. The scientific basis of color control lining brick at «Alekseevskaya Ceramics» factory. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 3, pp. 90–95. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-746-3-90-95>. (In Russian)
2. Ariskina K.A., Ariskina R.A., Salahov A.M., Vagizov F.G., Ahmetova R.T. The influence of the chemical and mineralogical composition of clays on the color of ceramic materials. *Vestnik tehnologicheskogo universiteta*. 2012. Vol. 19. No. 24, pp. 25–28. (In Russian).
3. Fedorenko O., Prysiozhna L., Petrov S., Chyrkina M., Boryscako O. Studying the physicochemical regularities in the color and phase formation processes of clinker ceramic materials. *Easten-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 6 (96). pp. 58–65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150659>
4. Russovich-Yugai N.S., Neklyudova T.L. Dyeing parameters of low-melt clays. *Steklo i keramika*. 2007. No. 7, pp. 13–15. (In Russian).

5. Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Веревкин К.А. Влияние окислительно-восстановительных условий обжига на фазовый состав железа и цвет керамического кирпича // *Строительные материалы*. 2011. № 8. С. 8–11.
6. Платова Р.А., Шмарина А.А., Стафеева З.В. Многомерная колориметрическая градация каолина // *Стекло и керамика*. 2009. № 1. С. 17–22.
7. Езерский В.А. Количественная оценка цвета керамических лицевых изделий // *Строительные материалы*. 2015. № 8. С. 76–80.
8. Столбоушкин А.Ю., Акст Д.В., Фомина О.А. Разработка модели формирования цвета и распределения красящего компонента при обжиге керамики каркасно-окрашенной структуры // *Строительные материалы*. 2020. № 8. С. 38–46. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-783-8-38-46>
9. Платов Ю.Т., Платова Р.А. Инструментальная спецификация цветовых характеристик строительных материалов // *Строительные материалы*. 2013. № 4. С. 66–72.
10. Умарова Н.Н., Сонин В.Ф., Сакаева А.Г. Идентификация цветовой гаммы керамического кирпича в цветовых моделях // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Т. 17. № 24. С. 42–45.
11. Karaman S., Gunal H., Ersahin S. Assessment of clay bricks compressive strength using quantitative values of color components // *Construction and Building Materials*. 2006. Vol. 20 (5), pp. 348–354. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.11.003>
12. Karountzou G., Xanthopoulon V., Iliopoulois I. The contribution of visible near infrared reflectance spectroscopy to color determination: case of the experimental ceramic briquettes // *Bulletin of the Geological Society of Greece*. 2019. Pub. 7.
13. Szalai Z., Kiss K., Jakab G., Sipos P., Nemeth T. The use of UV-VIS-NIR reflectance spectroscopy to identify iron minerals // *Astronomical Note*. 2013. Vol. 334 (4), pp. 940–943. <https://doi.org/10.1002/asna.201211965>
14. Valanciene V., Siauciunac R., Baltusnikaite J. The influence of mineralogical on the color of clay body // *Journal of the European ceramic society*. 2010. Vol. 30. Iss. 7, pp. 1609–1617. [10.1016/j.jeurceramsoc.2010.01.017](https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.01.017)
15. Масленникова Г.Н., Пищ И.В. Керамические пигменты. М.: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ». 2009. С. 224.
16. Соболев Д.Н., Никоноров Н.В., Ширшнева П.С., Нуриев Р.К., Степанов С.А., Панов Д.Ю. Синтез, структура и спектральные свойства калиево-алюмоборатных стекол с нанокристаллами феррита марганца // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики*. 2016. Т. 16. № 4. С. 642–647.
17. Scheweizer F., Rinay A. Manganese black us an Etruscan Pigment // *Studies in Conservation*. 1982. Vol. 27 (3). pp. 118–123. <https://doi.org/10.2307/1506147>
18. Иванова О.С., Петраковская Э.А., Иванцов Р.Д., Эдельман И.С., Степанов С.А., Зарубина Т.В. Влияние термообработки и концентрации Mn и Fe на структуры боратного стекла // *Журнал прикладной спектроскопии*. 2006. Т. 73 (3). С. 354–358.
5. Zubekhin A.P., Yatsenko N.D., Verevkin K.A. Influence of oxidation-reduction conditions of roasting on phase composition of oxides of iron and color ceramic brick. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 8, pp. 8–11. (In Russian).
6. Platova R.A., Shmarina A.A., Stafeeva Z.V. Multi dimensional colorimetric gradation of kaolin. *Steklo i keramika*. 2009. No. 1. pp. 17–22. (In Russian).
7. Ezerskiy V.A. Quantitative Assessment of color of ceramic facing products. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 8, pp. 76–80. (In Russian).
8. Stolboushkin A.Yu., Akst D.V., Fomina O.A. Development of a model for color formation and distribution of a coloring component during of the firing of ceramics of frame-painted structure. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 8, pp. 38–46. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-783-8-38-46>
9. Platov Yu.T., Platova R.A. Instrumental specification of colour characteristic of building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 4. pp. 66–72. (In Russian).
10. Umarova N.N., Sonin V.F., Sakaeva A.G. Identification of the color scheme of ceramic bricks in color models. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2014. Vol. 17. No. 24, pp. 42–45. (In Russian).
11. Karaman S., Gunal H., Ersahin S. Assessment of clay bricks compressive strength using quantitative values of color components. *Construction and Building Materials*. 2006. Vol. 20 (5), pp. 348–354. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.11.003>
12. Karountzou G., Xanthopoulon V., Iliopoulois I. The contribution of visible near infrared reflectance spectroscopy to color determination: case of the experimental ceramic briquettes. *Bulletin of the Geological Society of Greece*. 2019. Pub. 7.
13. Szalai Z., Kiss K., Jakab G., Sipos P., Nemeth T. The use of UV-VIS-NIR reflectance spectroscopy to identify iron minerals. *Astronomical Note*. 2013. Vol. 334 (4), pp. 940–943. <https://doi.org/10.1002/asna.201211965>
14. Valanciene V., Siauciunac R., Baltusnikaite J. The influence of mineralogical on the color of clay body. *Journal of the European ceramic society*. 2010. Vol. 30. Iss. 7, pp. 1609–1617. [10.1016/j.jeurceramsoc.2010.01.017](https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.01.017)
15. Maslennikova G.N., Pishh I.V. Keramicheskie pigmenty [Ceramic pigments]. Moscow: Stroymaterialy Publishing. 2009. 224 p.
16. Sobolev D.N., Nikonorov N.V., Shirshnev P.S., Nuriev R.K., Stepanov S.A., Panov D.Yu. Synthesis, structure and spectral properties of potassium-alumina-borate glass with nanocrystals of manganese ferrite. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik informacionnykh tekhnologii, mekhaniki*. 2016. Vol. 16. No. 4. pp. 642–647. (In Russian).
17. Scheweizer F., Rinay A. Manganese black us an Etruscan pigment. *Studies in Conservation*. 1982. Vol. 27 (3). pp. 118–123. <https://doi.org/10.2307/1506147>
18. Ivanova O.S., Petrakovskaya E.A., Ivancov R.D., Edel'man I.S., Stepanov S.A., Zarubina T.V. Effect of heat treatment and concentration of Mn and Fe on the structure of borate glass. *Zhurnal prikladnoy spektroskopii*. 2006. Vol. 73 (3). pp. 354–358. (In Russian).

УДК 692.23

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-21-24>

Ю.А. БОЖКО, инженер, ассистент (ovdun_ys@mail.ru),

К.А. ЛАПУНОВА, канд. техн. наук (keramik-kira@mail.ru)

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

О развитии brick-дизайна в России

Отражен взгляд авторов на техническо-эстетическую сторону использования лицевого кирпича в архитектуре России. Термин brick-дизайн сочетает такие показатели кирпичной кладки, как цвет, размер и поверхность самого кирпича, а также тип кладки и параметры шва. Практика показывает, что культура потребления лицевого кирпича в России остается на низком уровне, что связано с отсутствием должных знаний и нехваткой квалифицированных мастеров-каменщиков. Основной задачей развития brick-дизайна является популяризация различных типов объемно-пространственных кладок и раскрытие потенциала использования кирпича как базовой единицы. Для сравнения приведена архитектура европейских городов, которая не отличается сложностью дизайна, но имеет преимущества в виде необычных кладок, сочетания цветов, вертикального направления кладки и прочих элементов технической эстетики. Применение кирпича в различных уровнях brick-дизайна позволит уйти от использования архитектурного декора на фасадах зданий, при этом сохранив его аутентичность и индивидуальность. Кирпич как базовая единица самодостаточен и способен выполнить не только функциональную роль, но и эстетическую. В настоящей ситуации необходимым и решающим действием будет являться грамотная коммуникация со специалистами отрасли, архитекторами и дизайнерами, ведущими производителями и технологами, осознающими уникальность керамического кирпича, который при рациональном использовании не нуждается в дополнительной обертке.

Ключевые слова: кирпич, тип кладки, техническая эстетика, объемно-пространственная кладка, brick-дизайн.

Для цитирования: Божко Ю.А., Лапунова К.А. О развитии brick-дизайна в России // *Строительные материалы*. 2020. № 12. С. 21–24. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-21-24>

Yu.A. BOZHKO, Engineer (ovdun_ys@mail.ru), K.A. LAPUNOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (keramik_kira@mail.ru)
Don state technical University (1, Gagarina Square, Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation)

About the Development of Brick-Design in Russia

The article reflects the authors view on the technical and aesthetic side of the use of face bricks in the architecture of our country. The term brick design combines such indicators of brickwork as the color, size and surface of the brick itself, as well as the type of masonry and seam parameters. Unfortunately, the analysis of the current situation shows that the culture of consumption of face bricks in Russia remains at a low level, which is due to the lack of proper knowledge and insufficient number of qualified master masons. The main goal of brick design development is to popularize various types of three-dimensional masonry and reveal the potential of using bricks as a basic unit. The comparison shows the architecture of European cities, which does not differ in the complexity of architectural forms, but has advantages in the form of unusual masonry, color combinations, vertical direction of masonry and other elements of technical aesthetics. The use of bricks in various levels of brick design will allow you to avoid using architectural decoration on the facades of buildings, while preserving its authenticity and individuality. The brick, as a basic unit, is self-sufficient and is able to fulfill not only its functional role, but also its aesthetic one. In this situation, a necessary and decisive action will be competent communication with industry specialists, architects and designers, leading manufacturers and technologists who realize that we have a unique material that does not need additional wrapping when used efficiently.

Keywords: brick, type of masonry, technical aesthetics, three-dimensional masonry, brick design.

For citation: Bozhko Y.A., Lapunova K.A. About the development of brick-design in Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 12, pp. 21–24. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-21-24>

Какие ассоциации возникают у человека, когда он слышит слово *кирпич*? Прямоугольный, гладкий, красный, в лучшем случае — желтый или коричневый. Этим фантазия среднестатистического россиянина обычно ограничивается. Кладка из кирпича многим представляется обыденностью и данью традициям, фасадным решением консервативным, универсальным, надежным [1–4]. Не углубляясь в эксплуатационно-технические характеристики лицевого кирпича, обратимся к его дизайну и эстетике.

Какой тип кладки чаще всего встречается на фасадах российских домов? Чаще всего ложковая в полкирпича или в четверть. Немного реже — ложковая диагональная или тычковая. А вот такие виды кладки, как фламандская, голландская, крестовая и пр., встречаются совсем нечасто. Тем не менее клад-

ку можно сделать фактурной, а из кирпича выложить орнамент или узор [1–2, 5]. Однако ни заказчики, ни архитекторы, ни тем более строители об этом не задумываются. Скорее всего, это говорит о низкой культуре потребления кирпича, отсутствии дизайнерских традиций и, как следствие, отсутствии мастеров-каменщиков высокой квалификации, владеющих навыками широкого спектра кладки. А ведь кирпич — это уникальный продукт, по своей сути базовая единица, призванная создавать шедевры.

Гуляя по европейским улочкам, мы то и дело встречаем уникальные архитектурные объекты — дома с интересным кирпичным прочтением. И это не только здания старой постройки. Новые жилые комплексы строятся не только стилизованными под ста-



Рис. 1. Пример кирпичной архитектуры современного европейского города
Fig. 1. Example of brick architecture of a modern European city



Рис. 2. Использование клинкерного кирпича на фасадах зданий
Fig. 2. Use of clinker bricks on building elevations



ринные здания, но и в современном стиле с использованием сложной кладки, сочетающей форму, фактуру и цвет кирпича. И в каждом свой характер, своя архитектурная задумка (рис. 1).

Почему людям так нравятся европейские города? Возможно, это связано с существенным визуальным различием европейской и российской архитектуры, а может, у россиянина, склонного к поэтизации окружающего мира, возникает ощущение, что у зданий есть душа. Европейцы привыкли строить кирпичные дома, покрытые черепичными крышами. Керамический дом солиден, надежен, полон достоинства. Строительная керамика как хорошее вино, с возрастом раскрывается ее красота и выразительность.

Термин brick-дизайн соединяет такие показатели кирпича, как цвет, форма и размер, фактура, что можно в общем назвать технической эстетикой. В экстерьере важное значение играет цвет и глубина

шва, а также тип кладки (рис. 2). Совокупность элементов и их признаков создает огромный мир brick-дизайна [6–9]. Задача исследователей – внедрить его в среду специалистов и индивидуальных застройщиков с целью максимально полного использования не только технических свойств керамического кирпича, но и его эстетических возможностей, которые поистине безграничны, вывести культуру потребления кирпича в России на новый уровень.

В настоящее время индивидуальность и статусность становятся важнейшими потребительскими характеристиками не только жилых, общественных, но и промышленных зданий. Этого можно достичь использованием инновационных материалов и вычурных архитектурных форм за счет огромной площади и масштаба. А можно успешно использовать привычный кирпич как инструмент самореализации.

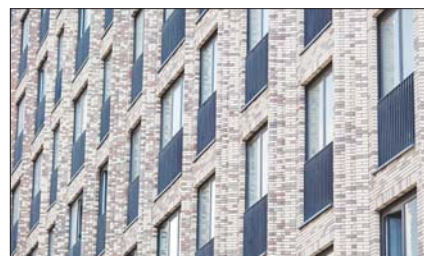
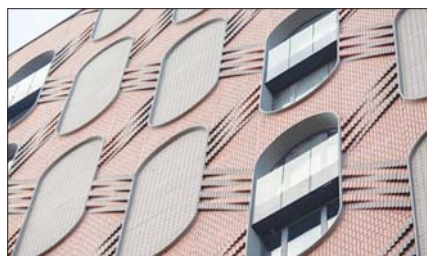
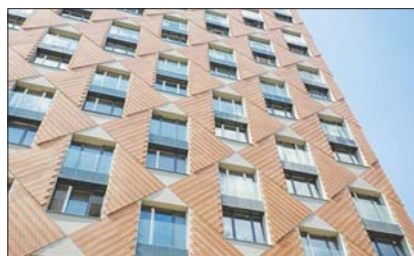
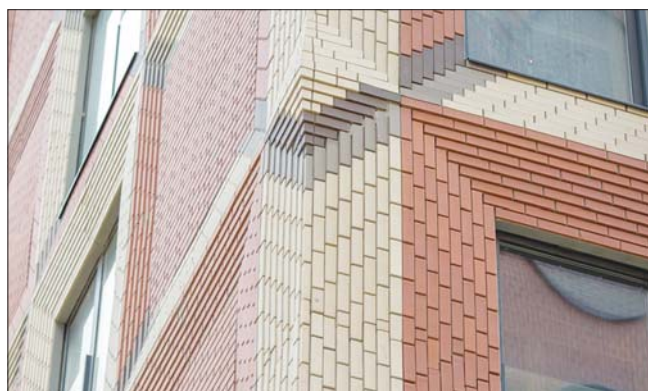


Рис. 3. Примеры решения кирпичных фасадов жилого комплекса «ЗИЛАРТ» в Москве
Fig. 3. Examples of the solution of brick facades of the ZILART residential complex in Moscow



Рис. 4. Многообразие объемно-пространственной кладки из кирпича
Fig. 4. Examples of brick space masonry

В настоящее время в России практически повсеместно налажен выпуск качественного лицевого керамического кирпича широкой цветовой гаммы и фактуры лицевой поверхности, а также клинкерного кирпича и кирпича «ручной» формовки. Созданы все возможности для его грамотного применения в brick-дизайне. В сотрудничестве с девелоперами архитекторы начинают применять керамический кирпич в многоэтажных и даже высотных проектах. Ярким примером является жилой комплекс «ЗИЛАРТ» в Москве (рис. 3). Вся территория комплекса поделена на пять тематических зон, где фасады домов выполнены из различного по цвету и фактуре клинкерного кирпича производства компании «ЛСР».

Комплекс «ЗИЛАРТ» стал одним из примеров инновационного brick-дизайна в нашей стране [10, 11]. По задумке архитекторов и проектировщиков было изменено направление кирпича на фасаде и применена 3D-кладка, благодаря чему комплекс отличается оригинальностью и качеством исполнения.

Здесь минимум цвета и максимум формы, четкости линий и геометричность. За счет оригинальных кладок появляется интересная игра света и тени и полностью изменяется эстетическое восприятие кирпича. На фасадах нет архитектурных элементов из бетона или другого материала, так как они просто неуместны. Кирпич самодостаточен и успешно выполняет не только функциональную, но и эстетическую роль.

Кирпич в нашей стране остается недооцененным, его эстетический потенциал не реализован. Поэтому актуальной задачей является популяризация кирпи-

ча как уникального материала, не нуждающегося в дополнительном декоре. Конструктивные особенности изделий (вариативность объема и размещения пустот, разнообразие геометрических форм и фактуры, наличие четырех рабочих поверхностей), возможности его использования практически безграничны [2, 10–13].

Огромным потенциалом реализации brick-дизайна являются объемно-пространственные кладки (рис. 4). Их суть заключается в использовании игры света и тени, нарушения плоскости фасадов и создания точечных акцентов. С технической точки зрения это не вызывает сложностей, так как показатели по морозостойкости, прочности, водопоглощению и другим параметрам современного кирпича высоки. Разработка объемно-пространственной кладки на фасаде здания носит творческий характер, однако ее реализация в жизнь требует наличия определенного опыта и мастерства каменщиков.

Важным фактором внедрения и развития brick-дизайна является грамотная коммуникация специалистов отрасли, архитекторов и дизайнеров, ведущих производителей и технологов с целью более полного раскрытия уникальных возможностей традиционного материала, который при творческом применении не нуждается в украшательстве. Необходимо показать, насколько органично выглядят дома не сложной формы, а в сложном исполнении кирпичной кладки. В Донском государственном техническом университете активно ведутся работы в этом направлении, которые приносят результат и преобразуют Ростов-на-Дону.

Список литературы

1. Коврижкина О.В. Творчество. Архитектура: В 2 ч.: Учебное наглядное пособие. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. Ч. 1. 148 с.
2. Божко Ю.А., Лапунова К.А. Применение облицовочного кирпича мягкой формовки в современной архитектуре // *Дизайн. Материалы. Технология*. 2018. № 1. С. 61–65.
3. Тимофеев А.Н., Попов А.Н., Полищук М.Н. Инновационная технология кладки кирпичных стен // *Современное машиностроение. Наука и образование*. 2016. № 5. С. 744–755.
4. Божко Ю.А., Лапунова К.А., Постой Л.В. Лицевой керамический кирпич мягкой формовки на основе опоковидного сырья. «Пром-Инжиниринг». *Труды V Всероссийской научно-технической конференции*. 2019. С. 198–202.
5. Михайлов С.М. История дизайна. Т. 1: Учеб. для вузов. М.: Союз Дизайнеров России, 2004. 280 с.
6. Франсис Д.К. Чинь. Архитектура. Форма, пространство. М.: АСТ; Астрель, 2005. 399 с.
7. Кринский В.Ф., Ламцов И.В., Туркус М.А. и др. Объемно-пространственная композиция в архитектуре. М.: Стройиздат, 1975. 192 с.
8. Каримова И.С. Объективное и субъективное в дизайне среды. Благовещенск: АГУ, 2012. 116 с.
9. Шлегель И.Ф. Изделия архитектурные керамические. Общие технические условия. Омск, 2012. 74 с.
10. Захаров А.И., Кухта М.С. Форма керамических изделий: философия, дизайн, технология // *Дизайн и общество*. 2015. № 1. С. 1–224.
11. Электронный ресурс: сайт компании «ЛСР» – <https://www.lsr.ru/msk/zhilye-kompleksy/zilart/> [дата обращения: 25.07.2020 г.].
12. Саенко Э.Г., Корепанова В.Ф., Гринфельд Г.И. Возможности фасадного клинкерного кирпича марки «ЛСР» в замещении импорта // *Строительные материалы*. 2016. № 4. С. 60–63.
13. Трифонова Е.А., Вечкасова Е.Н. Использование кирпичной кладки в современном дизайне и строительстве. Перспективы использования декоративной кладки // *Universum: технические науки: Эл. науч. журн*. 2018. № 4 (49).

References

1. Kovrizhkina O.V. Tvorchestvo. Arkhitektura: v 2 ch.: uchebnoe naglyadnoe posobie [Creativity. Architecture: in two parts: visual tutorial]. Belgorod: BGTU. 2015. Vol. 1. 148 p.
2. Bozhko Yu.A., Lapunova K.A. Application of soft-moulding facing bricks in modern architecture. *Dizain. Materialy. Tekhnologiya*. 2018. No. 1, pp. 61–65. (In Russian).
3. Timofeev A.N., Popov A.N., Polishchuk M.N. Innovative brick wall technology. *Sovremennoe mashinostroenie. Nauka i obrazovanie*. 2016. No. 5, pp. 744–755. (In Russian).
4. Bozhko Yu.A., Lapunova K.A., Postoi L.V. Front ceramic brick of soft moulding on the basis of support-like raw materials. *Prom-Inzhiniring. Trudy V Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*. 2019, pp. 198–202. (In Russian).
5. Mikhailov S.M. Istoriya dizaina [Design History]. Vol. 1. Moscow: Soyuz Dizainerov Rossii. 2004. 280 p.
6. Fransis D.K. Chin'. Arkhitektura. Forma, prostranstvo [Architecture. Shape, Space]. Moscow: AST; Astrel'. 2005. 399 p.
7. Krinskii V.F., Lamtsov I.V., Turkus M.A. Obemno-prostranstvennaya kompozitsiya v arkhitekture [Spatial composition in architecture]. Moscow: Sroyizdat. 1975. 192 p.
8. Karimova I.S. Obektivnoe i subektivnoe v dizaine sredy [Objective and subjective in the design of the environment] Blagoveshchensk: AGU. 2012. 116 p.
9. Shlegel' I.F. Izdeliya arkhitekturnye keramicheskie. Obshchie tekhnicheskie usloviya [Architectural ceramic products. General specifications.]. Omsk. 2012. 74 p.
10. Zakharov A.I., Kukhta M.S. Shape of ceramic products: philosophy, design, technology. *Dizain i obshchestvo*. 2015. No. 1, pp. 1–224. (In Russian).
11. Electronic resource: LSR website – <https://www.lsr.ru/msk/zhilye-kompleksy/zilart/> [date of application 25.07.2020].
12. Saenko Je.G., Korepanova V.F., Grinfel'd G.I. Capabilities of façade clinker brick of «LSR» brand to substitute import. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 4, pp. 60–63. (In Russian).
13. Trifonova E.A., Vechkasova E.N. Use of brickwork in modern design and construction. Prospects for using decorative masonry. *Universum: tekhnicheskie nauki*. 2018. No. 4 (49). (In Russian).

Подписка на электронную версию
<https://journal-cm.ru/index.php/ru/podpiska-2021>

Д.В. АКСТ¹, инженер (daniel_axt@mail.ru), А.Ю. СТОЛБОУШКИН¹, д-р техн. наук (stanyr@list.ru);
О.А. ФОМИНА^{1,2}, канд. техн. наук (soa2@mail.ru)

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

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

Расчет состава гранулированных шихт для декоративной стеновой керамики

Показана необходимость применения многокомпонентной шихты в современных технологиях строительной керамики, вызванная целым рядом причин, в том числе использованием низкосортных природных и техногенных сырьевых материалов, и актуальность ее рационального подбора с учетом химико-минералогического состава компонентов. Приведены результаты исследования химического, гранулометрического и минерального составов красящего техногенного сырья: пыль газоочистки от производства марганцевых сплавов, шлак от выплавки феррованадия и шламистая часть отходов от обогащения железных руд. Отмечены перспективное направление создания керамоматричных композиционных материалов и разработанная модель формирования каркасно-окрашенной структуры композитов, позволяющая использовать для объемного окрашивания техногенные модификаторы цвета. Рассмотрены основные положения разработанного метода математического расчета состава гранулированной шихты для получения керамики каркасно-окрашенной структуры. Показана модель многослойной гранулы с различным послойным распределением сырьевых компонентов. Приведены сводные данные калькуляции для разных составов шихты и основные показатели расчета. Представлены результаты апробации расчетного метода на примере марганец- и ванадийсодержащего техногенного сырья для формирования двух- и трехкомпонентных гранулированных шихт. В заводских условиях получены опытные образцы декоративного керамического кирпича матричной структуры. Обосновано и экспериментально подтверждено выраженное изменение окраски обожженных изделий при использовании красящей техногенной добавки с пониженным содержанием хромофоров.

Ключевые слова: гранулированная шихта, метод математического расчета, марганец- и ванадийсодержащие красящие отходы, керамоматричный композит, декоративная керамика с каркасно-окрашенной структурой.

Результаты исследования получены при поддержке стипендии Президента России, исследовательский проект SP-4752.2018.1.

Для цитирования: Акст Д.В., Столбоушкин А.Ю., Фомина О.А. Расчет состава гранулированных шихт для декоративной стеновой керамики // *Строительные материалы*. 2020. № 12. С. 25–33. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-25-33>

D.V. AKST¹, Engineer (daniel_axt@mail.ru), A.Yu. STOLBOUSHKIN¹, Doctor of Sciences (Engineering) (stanyr@list.ru);
O.A. FOMINA^{1,2}, 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 Side street, Moscow, 101990, Russian Federation)

Calculation of the Composition of Granular Charges for Decorative Wall Ceramics

It has been shown the necessity of using a multicomponent charge in modern technologies of building ceramics, that caused by a number of reasons, including the usage of low-grade natural and technogenic raw materials, and the relevance of its rational selection, considering the chemical and mineralogical composition of the charge components. The results of the study of the chemical, granulometric and mineral composition of the coloring technogenic raw materials are presented: gas cleaning dust from the manganese alloys production, slag from ferrovanadium smelting and a slime part of the waste from iron ores enrichment. A perspective direction for the creation of ceramic-matrix composite materials and a developed model for the formation of a frame-painted structure of composites, which allows the usage of technogenic color modifiers for volumetric staining, are noted. The basic provisions of the developed mathematical calculation method of the granular charge composition for obtaining ceramics with frame-painted structure are considered. A model of a multilayer granule with different layered raw materials distribution is shown. The summary data of the calculation for different charge compositions and the main calculation indicators are given. The results of approbation of the calculation method on the example of manganese- and vanadium-containing technogenic raw materials for the formation of two- and three-component granular mixtures are presented. Experimental samples of decorative ceramic bricks with matrix structure were obtained in the factory. It has been substantiated and experimentally confirmed a pronounced change in the color of fired products with the use of a coloring technogenic additive with a reduced content of chromophores.

Keywords: granular charge, mathematical calculation method, manganese- and vanadium-containing coloring waste, ceramic-matrix composite, decorative ceramics with frame-painted structure.

The current study was carried out with supporting of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Russian President Scholarship, research project SP-4752.2018.1).

For citation: Akst D.V., Stolboushkin A.Yu., Fomina O.A. Calculation of the composition of granular charges for decorative wall ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 12, pp. 25–33. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-25-33>

Качество строительных материалов, и в частности стеновой керамики, во многом определяется характеристиками исходного сырья [1–3]. Для обеспечения требуемых физико-механических и декоративных свойств керамического кирпича на начальном этапе важно правильно подобрать шихтовой состав и определить точные

пропорции между базовыми сырьевыми компонентами и всеми корректирующими добавками [4–6].

В современных технологиях строительной керамики практически не предусмотрено применение однокомпонентных шихт [7–9]. Это связано с существующими высокими стандартами готовой, часто

тонкостенной (4–6 мм) продукции соответственно с необходимостью точного обеспечения требуемых реологических, сушильных и обжиговых свойств керамической массы и с использованием низкосортных сырьевых материалов неоднородного состава, вызванным истощением запасов высококачественных глин. Так, недостаток глинистых минералов в шихте и наличие большого количества примесей неизбежно приводят к нарушению спекания керамического материала и, как следствие, снижению марочной прочности изделий [10, 11]. В свою очередь, избыток карбонатов при переувлажнении кирпича часто является причиной появления дутиков, микротрещин и способствует разрушению материала [12]. Высокое содержание пирита и водорастворимых сульфатных солей щелочных и щелочно-земельных металлов в исходном сырье, напротив, приводит к образованию высолов на поверхности кирпича в процессе его эксплуатации [13]. В таком случае целесообразно предусматривать на стадии массоподготовки введение в состав глиняной шихты химических барийсодержащих реагентов-минерализаторов [14, 15]. В технологии объемного окрашивания керамики неправильный выбор и расчет количества пигментов приводят к визуальным дефектам: пятнам, разводам, получению неравномерной окраски или ненасыщенного оттенка изделий [16–18]. Во всех случаях актуальным является рациональный подбор многокомпонентной керамической шихты с учетом химико-минералогического состава ее компонентов [19].

В настоящее время одним из перспективных направлений развития отрасли строительной керамики является создание керамоматричных композиционных материалов, в которых за счет комбинации нескольких сырьевых компонентов и формирования упорядоченной структуры изделий достигается синергетический эффект, улучшающий их эксплуатационные характеристики [20, 21]. Также с учетом высокого спроса на декоративный керамический кирпич, необходимости расширения сырьевой базы и высокой стоимости минеральных пигментов вопросы рационального подбора шихт особенно актуальны [22, 23].

В процессе исследований авторами были разработаны модель формирования каркасно-окрашенной структуры керамических матричных композитов и на ее основе технология окрашенного кирпича, позволяющая использовать техногенные модификаторы цвета с пониженным содержанием хромофоров [24, 25]. При этом в процессе массоподготовки базовый сырьевой компонент агрегируется в сферические гранулы, на поверхность которых наносится оболочка из красящей техногенной добавки [26].

В настоящее время в заводской практике нет единой, общепринятой методики расчета многокомпонентных шихт для стеновой керамики, которая бы учитывала все факторы, влияющие на изготовление кирпича. В качестве одной из дорожных карт на пути решения этой проблемы авторами был разработан метод математического расчета многокомпонентно-

го состава гранулированной шихты для получения керамических матричных композитов с заданными физико-механическими и декоративными свойствами [27]. Теоретически разработанный метод позволяет расчетным путем проектировать рациональный состав керамических пресс-порошков, основываясь на характеристиках исходных сырьевых материалов.

Цель исследования

Цель исследования заключалась в апробации разработанного метода расчета состава гранулированных шихт на примере получения декоративной стеновой керамики при использовании техногенных модификаторов цвета с пониженным содержанием хромофоров.

Методы исследования

Для анализа вещественного состава сырьевых материалов в работе использовались стандартные и прецизионные методы исследования. Размер и удельный объем частиц базового сырья и красящих добавок устанавливались при помощи лазерного анализатора Malvern Mastersizer 2000. Определение гранулометрического состава проводилось в диапазоне от 0,02 до 2000 мкм с сухим и жидким диспергированием частиц. Качественные и количественные исследования химического состава исходных материалов проводились на рентгенофлуоресцентном волнодисперсионном спектрометре Shimadzu XRF-1800. Фазовый состав и структура сырьевых компонентов определялись комплексом прецизионных и прямых методов, включая качественный рентгеноструктурный анализ на дифрактометре Shimadzu XRD-6000, оптическую и электронную микроскопию на РЭМ JSM-6460LV с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy.

Объекты исследования

В рамках апробации разработанного метода для получения декоративной стеновой керамики были выбраны следующие базовые и красящие компоненты гранулированных шихт: легкоплавкое глинистое сырье (г. Ленинск-Кузнецкий); *ОЖР* – шламистые отходы от обогащения железных руд ОАО «Евразруда» (г. Новокузнецк); *ПГМ* – сопутствующий продукт (пыль газоочистки) от производства марганцевых сплавов ООО «Западно-Сибирский электрометаллургический завод» (г. Новокузнецк); *ФВШ* – шлак от выплавки феррованадия АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат» (г. Нижний Тагил). Гранулометрический и химический составы исследуемых материалов техногенного происхождения соответственно приведены в табл. 1, 2.

Глина Ленинск-Кузнецкого месторождения относится к низкодисперсному полукислотному глинистому сырью со средней пластичностью и высоким содержанием красящих оксидов. Результаты исследования гранулометрического и химико-минералогического составов сырья приведены в работе [24].

Таблица 1
Table 1Гранулометрический состав техногенных сырьевых материалов
Granulometric composition of technogenic raw materials

Сырьевые материалы	Размер частиц материалов, мм, и их массовое содержание, %					Удельный объем частиц, мкм ³ /г
	>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	1,8·10 ¹²
ПГМ	4,39	41,07	35,12	15,57	3,85	2,7·10 ¹²
ФВШ	0,86	12,12	16,27	54,73	16,02	2,5·10 ¹²

Таблица 2
Table 2Химический состав техногенных сырьевых материалов
Chemical composition of technogenic raw materials

Сырьевые материалы	Массовое содержание, % (после прокалывания)											
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	V ₂ O ₅	MnO ₂	ППП	Примеси
ОЖР	33,62	9,24	19,05	13,81	10,68	0,42	0,93	0,41	–	0,47	10,25	1,12
ПГМ	32,17	4,85	1,93	11,21	9,95	1,8	5,01	–	–	29,47	–	3,61
ФВШ	11,37	3,54	27,06	2,96	6,38	0,12	0,08	8,87	23,69	9,28	–	6,65

Шламистая часть отходов обогащения железных руд в соответствии с классификацией по ГОСТ 9169–75 представляет собой тонкодисперсное (средний размер частиц 20–25 мкм) малопластичное сырье полиминерального состава с высоким содержанием красящих оксидов (Fe₂O₃+TiO₂=14,63 мас. %) и низкой чувствительностью к сушке. Минералогический состав усредненной пробы сложен кварцем, гематитом, авгитом, хлоритами железистого типа; также присутствуют мусковит, карбонаты, амфиболы, пирит и другие примеси. Исходя из их вещественного состава ОЖР могут быть использованы в качестве базового компонента гранулированных керамических шихт для производства декоративного кирпича.

Как уже отмечалось, уловленная газоочистными сооружениями марганцевая пыль является сопутствующим продуктом от выплавки ферросиликомарганца. Отобранные пробы ПГМ имеют полиминеральный состав и представлены гаусманитом, браунитом, кварцем, франклинитом, пироксенами, кальциевым полевым шпатом и альбитом с небольшим количеством примесей. Совокупное содержание красящих оксидов марганца в химическом составе пыли составляет порядка 30 мас. %, оксидов железа – менее 2 мас. %. По гранулометрическому составу марганцевая пыль газоочистки соответствует пылевой суспензии и относится к группе низкодисперсного сырья.

Феррованадиевый шлак также является побочным продуктом сталелитейного процесса и образуется при конвертировании ванадийсодержащего чугуна. ФВШ относится к грубодисперсному кислому сырью с высоким содержанием красящих оксидов (Fe₂O₃+TiO₂=31,79 мас. %). При этом в усредненной пробе шлака концентрация пентаоксида ванадия составляет более 23 мас. %, что дополнительно обуславливает его выраженное флюсующее действие в процессе обжига декоративной керамики.

Результаты и обсуждение

Согласно авторскому методу [27] расчет многокомпонентного состава шихты основан на определении количества частиц базового сырья и корректирующих добавок, необходимого для построения одной гранулы средневзвешенного размера. При этом значение среднего диаметра этой гранулы устанавливается эмпирически и зависит от множества факторов, включая параметры грануляции сырья, характеристики агрегируемых материалов, вид связующего, его количество и способ введения.

Еще во второй половине прошлого века в работе [28] процесс гранулообразования был описан как отношение среднего диаметра формируемых гранул (d_{cp}) к диаметру исходных частиц (d_i). В то же время установлено, что кинетика данного процесса находится в прямой пропорциональной зависимости от комкуемости базового компонента шихты – способности частиц молекулярным притяжением удерживать связующее на своей поверхности. И поскольку агрегация низкодисперсного материала в гранулы обеспечивается налипанием сухих частиц на смоченное ядро, количество связующего в приповерхностной зоне гранулы должно быть как можно больше, а значит, комкуемость должна быть выше. Тогда средний диаметр формируемых гранул будет определяться по формуле:

$$d_{cp} = \frac{g \cdot d_q}{1 - \left[\sum_{i=1}^t \left(1 - \frac{g \cdot d_q}{d_i} \right)^3 \cdot G_i \right]^{1/3}}, \quad (1)$$

где g – доля поверхностного объема гранулы, не занятая связующим; G_i – доля гранул, имеющих диаметр d_i ; t – количество гранул уникального диаметра, шт.

Значение величины g должно устанавливаться экспериментально для конкретного вида гранулиру-

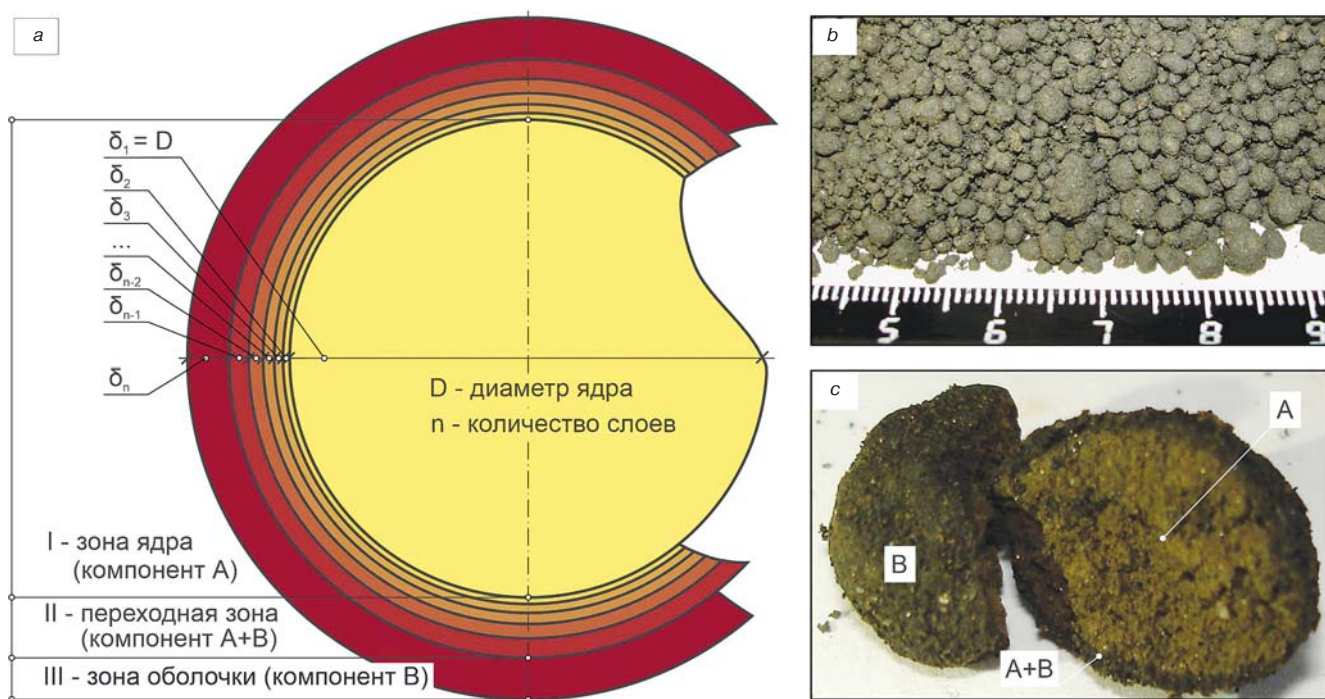


Рис. 1. Модель опудренной гранулы из компонентов ядра А и окрашивающей оболочки В (а), внешний вид (б) и структура (с) гранул на основе шламистых железорудных отходов, покрытых оболочкой из смеси глины и феррованадиевого шлака

Fig. 1. Pellet model of core A components and coloring shell B (a), appearance (b) and structure (c) of pellets based on sludge iron ore wastes coated with clay and ferrovandium slag mixture

емого материала. Данные интегрального распределения исходных частиц по размерам d_i принимаются к расчету по результатам гранулометрического анализа сырья. Соотношение количества гранул разного диаметра вычисляется по интегральной функции Фуллера, Андреасена и Боломэ [29] с учетом рационального фракционного состава гранулята, обеспечивающего неупорядоченную плотную упаковку полидисперсных гранул при прессовании изделий [30].

Ввиду сложности учета всех влияющих на процесс специфических факторов и для адаптации существующего математического аппарата в разработанном методе был принят ряд допущений. Так, в полидисперсных сыпучих системах с непрерывной гранулометрией для расчета плотной упаковки целесообразно игнорировать особенности формы отдельных зерен. Поэтому в расчетах частицы исходного сырья и сформированные из них гранулы любого размера условно имеют только сферическую форму. Кроме того, диаметр тарели гранулятора, ее угол наклона и скорость вращения, а также плотность капельного потока связующего тоже приняты постоянными на протяжении всего процесса грануляции.

Каркасно-окрашенная (матричная) структура композиционного керамического материала представляет собой систему из двух основных элементов – ядро и оболочка, формирование которых происходит в процессе обжига гранул из базового сырья и опудривающего слоя по их поверхности. Так как при получении такой декоративной керамики красящие компоненты концентрируются именно в оболочке, и цветовая окраска обожженного изделия

во многом зависит от ее толщины, что и было установлено ранее [24].

В случае, если матричная структура керамического изделия образована гранулами одинакового диаметра, толщина опудривающей оболочки составит около 4% диаметра целой гранулы для плотной упаковки идентичных зерен сферической формы с четным координационным числом [31]. Поскольку в силу целого комплекса причин формирование монофракционных порошков грануляцией окатыванием по движущей поверхности является труднодостижимым, для упрощенной оптимальной гранулометрии было принято классическое для полусухого прессования соотношение между крупной, средней и мелкой фракциями [30]: 25:25:50. Таким образом, вычислив средний диаметр формируемых гранул по формуле (1), можно приблизительно установить толщины их ядер и оболочки.

В рамках метода расчета состава гранулированных шихт для определения количества базового и красящего компонентов была разработана модель опудренной гранулы (рис. 1, а). Согласно этой модели, тело гранулы состоит из n концентрических слоев и условно делится на три зоны:

I – зона ядра. Представляет собой ядро (тело) гранулы и состоит из одного слоя ($n=1$), полностью представлена частицами базового сырья (компонент А), скрепленными связующим.

II – переходная зона. Состоит из $i=n-2$ слоев и образована частицами базового (компонент А) и красящего (компонент В) сырья. Распределение компонентов А и В во второй зоне интегрально изменяется

Таблица 3
Table 3Процентное содержание компонентов по слоям гранулы
Percentage of components by granule layers

Компонент	1-й слой	2-й слой	3-й слой	4-й слой	5-й слой
Базовое сырье (А)	100	75	50	25	0
Красящая добавка (В)	0	25	50	75	100

по мере удаления от центра ядра в сторону увеличения красящего компонента В.

III – зона оболочки. Замыкает окрашивающую оболочку по поверхности гранулы; как и первая зона, состоит из одного слоя ($i=n$) и полностью представлена частицами красящего сырья (компонент В).

Величина сырьевых компонентов для получения гранулированной шихты может быть больше двух, поэтому предварительно необходимо выбрать количество слоев в модели и установить распределение компонентов по ее зонам в процентах. В данном случае (рис. 1, а) рассмотрен простой вариант формирования двухкомпонентной гранулы, имеющей количество слоев $n=5$. Постоянное соотношение между базовым сырьем (А) и красящей добавкой (В) по зонам было принято согласно табл. 3.

Поскольку первый слой ($i=1$) фактически является ядром гранулы и его толщина $\delta_i=D$, тогда для приведенной модели (рис. 1, а) нумерация слоев окрашивающей оболочки будет изменяться от 2 до 5, а их толщина описываться следующим уравнением:

$$\delta_i = a\delta_{i-1}, \quad (2)$$

где a – эмпирический коэффициент; i – номер слоя гранулы.

Минимальная толщина $i=2$ слоя на границе с ядром гранулы не может быть меньше диаметра самой крупной частицы исходного материала, который этот слой формирует. При этом коэффициент a напрямую зависит от характера гранулируемого материала, параметров формируемых гранул и определяется экспериментально.

Учитывая установленные ранее толщины ядра и оболочки, для гранулы средневзвешенного размера можно рассчитать толщину каждого слоя, входящего в модель. Тогда исходя из абсолютной сферичности гранулы объем i -го слоя будет определяться по формуле:

$$V_i = \frac{4}{3}\pi \left[\left(\sum_{j=1}^i \delta_j \right)^3 - \left(\sum_{j=1}^{i-1} \delta_j \right)^3 \right]. \quad (3)$$

В исследовании [32] в рамках модели твердых сфер предложена формула для определения плотности заполнения пространства (Φ_m) заданного объема полидисперсными частицами сферической формы с различными радиусами. В качестве объема, заполняемого твердыми сферами пространства, принимается объем i -го слоя гранулы, рассчитанный по формуле (3). Как показывают натурные и численные экс-

перименты [33, 34], плотность распределения Φ_m частиц при аморфной укладке обычно не превышает значения 0,64.

Задаваясь принятым ранее соотношением компонентов (табл. 3), а также учитывая средние диаметры элементарных сырьевых частиц, их количество по слоям гранулы можно найти, решив систему уравнений:

$$\begin{cases} \Phi_m V_i = V_A n_A^i + V_B n_B^i \\ V_A n_A^i = z_A^i \Phi_m V_i \\ V_B n_B^i = z_B^i \Phi_m V_i \end{cases}, \quad (4)$$

где V_A, V_B – объем частиц А и В, мм^3 ; n_A^i, n_B^i – количество частиц А и В в i -м слое гранулы, шт.; z_A^i, z_B^i – доля частиц А и В в i -м слое гранулы (табл. 3).

Общий объем частиц базового и красящего компонентов, идущих на построение и опудривание гранулы, находится как произведение объема одной сферической частицы на их совокупное количество по всем слоям. В свою очередь, используя данные об удельном объеме частиц из анализа лазерной гранулометрии, устанавливаются массы каждого компонента ($m_{\text{комп}}$), требуемого для формирования ядра и окрашивающей оболочки. Тогда количество базового сырьевого или красящего компонентов, необходимых для получения целого изделия из гранул средневзвешенного размера, будет определяться по формуле:

$$m_{\Sigma \text{комп}} = m_{\text{комп}} \cdot \frac{V_{\text{изд}}}{\frac{4}{3}\pi \left(\frac{D_1}{2}\right)^3}, \quad (5)$$

где $V_{\text{изд}}$ – объем засыпаемого гранулами пространства для формовки сырца, мм^3 .

Апробация разработанного метода расчета состава гранулированных шихт проводилась на примере изготовления керамических образцов в лабораторных условиях и выпуска полноформатного керамического кирпича в рамках опытно-заводских испытаний. Для этого из отобранных сырьевых материалов были приготовлены два состава пресс-порошков, соответственно двух- и трехкомпонентные:

1-й состав: базовое сырье (глина) + красящая добавка (ПГМ);

2-й состав: базовое сырье (ОЖР) + красящая добавка (глина) + (ФВШ).

При проведении расчета использовалась модель гранулы, состоящая из пяти слоев, в которых распределение сырьевых компонентов принималось по табл. 3. Сводные данные калькуляции для двух- и трехкомпонентных составов шихты приведены в табл. 4.

С учетом округления общий расход базового сырья и красящей добавки, необходимый для изготовления одного пустотелого кирпича нормального формата ($250 \times 120 \times 65$ мм) с семнадцатью сквозными цилиндрическими отверстиями, составляет соответственно для двух- и трехкомпонентных составов шихты:

1-й состав: глина – 3650 г + ПГМ – 275 г;

2-й состав: ОЖР – 4360 г + глина – 265 г + ФВШ – 115 г.

Таблица 4
Table 4

Основные показатели расчета состава гранулированных шихт
The main indicators for calculating the composition of granular charges

Наименование расчетного показателя	Ед. изм.	Первый состав шихты		Второй состав шихты		
		глина	ПГМ	ОЖР	глина	ФВШ
Средневзвешенный диаметр формируемых гранул d_{cp}	мкм	2507		2915		
Средний диаметр частиц d_4	мкм	15,3	16,2	25,4	15,3	12,4
Суммарная толщина слоев δ_i : – зоны ядра D – переходной зоны $\delta_1 + \delta_2 + \delta_3$ – зоны оболочки δ_5	мкм	2403 66 38		2769 97 49		
Количество частиц, необходимых на построение одной гранулы n	тыс. шт.	2571,7	185,7	870,7	295,3	276,8
Общий объем частиц, содержащихся в грануле $V_{общ}$	мм ³	4,82	0,41	7,47	0,55	0,28
Масса компонента для получения гранулы $m_{комп}$	мг	21,9	1,7	41,5	2,5	1,1
Масса компонента для получения керамического кирпича формата 1НФ с 17 пустотами $m_{\Sigma комп}$	г	3651	275,3	4360,6	264,5	116
Содержание компонента в составе гранулированной шихты	%	93	7	92	5,6	2,4

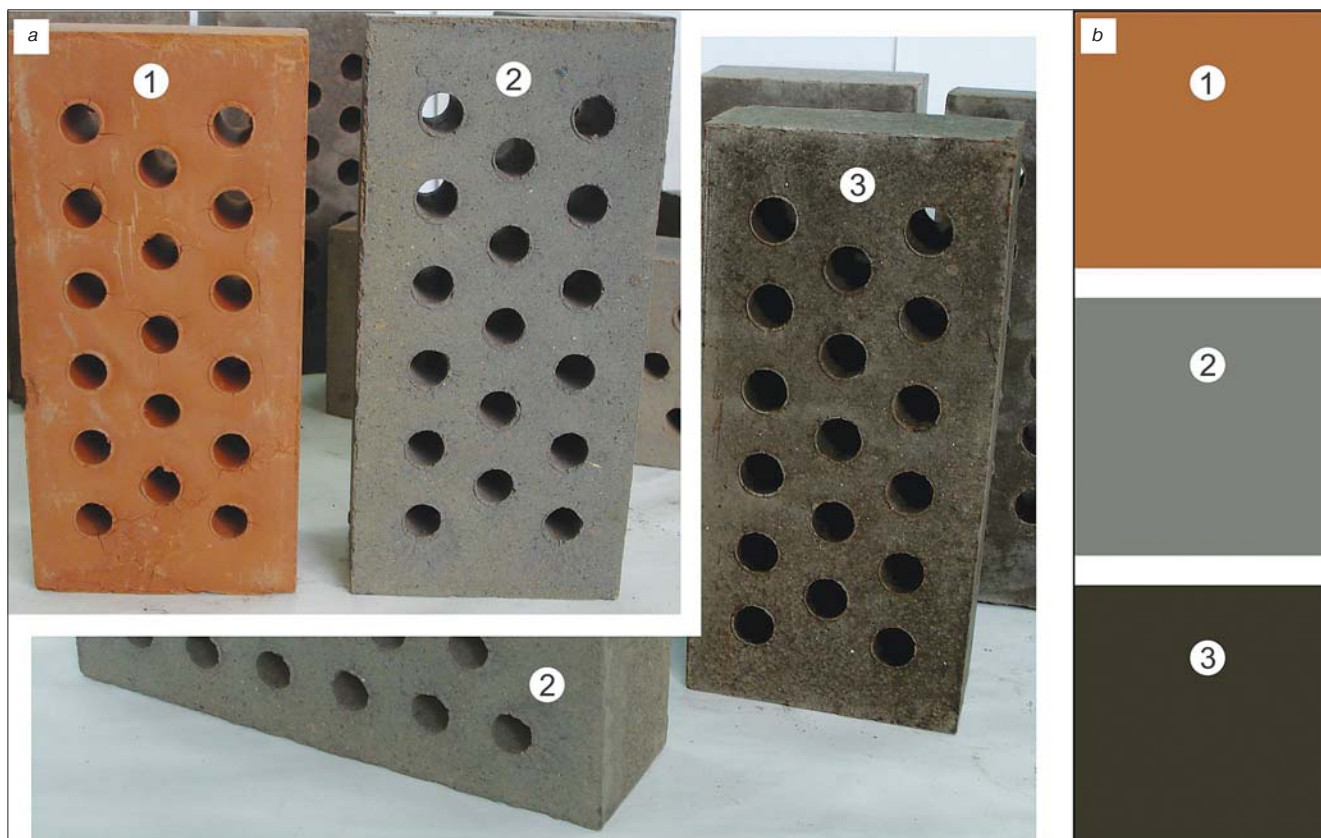


Рис. 2. Внешний вид (а) и палитра окрашивания (b) декоративного керамического кирпича из: 1 – глины (контрольный образец); 2 – шламистых отходов от обогащения железных руд, глины и феррованадиевого шлака; 3 – глины и пыли газоочистки от производства марганцевых сплавов
Fig. 2. Appearance (a) and color palette (b) of decorative ceramic bricks made of: 1 – clay (control sample); 2 – slime waste from the concentration of iron ores, clay and ferrovandium slag; 3 – clay and dust of gas cleaning from the production of manganese alloys

Таким образом, расчетным методом определены оптимальные составы гранулированных шихт для изготовления декоративного кирпича.

Шихта с добавкой марганецсодержащего техногенного сырья, мас. %:

- глина 93;

- пыль газоочистки 7.
- Шихта с добавкой ванадийсодержащего техногенного сырья, мас. %:*
- шламистые железорудные отходы 92;
 - глина 5,6;
 - феррованадиевый шлак 2,4.

На основе полученных по разработанному методу расчетных данных о составах гранулированных шихт были подготовлены керамические пресс-порошки для формовки декоративной стеновой керамики каркасно-окрашенной структуры. Процесс агрегации сырьевых компонентов осуществлялся в турболопастном смесителе-грануляторе периодического действия, в качестве связующего использовалась вода. Внешний вид готовой загранулированной шихты из шламистых железорудных отходов, глины и феррованадиевого шлака, а также структура опудренной гранулы приведены на рис. 1, *b*, *c*.

В заводских условиях из наработанных пресс-порошков был получен декоративный пустотелый керамический кирпич матричной структуры. Внешний вид и палитра обожженных изделий представлены на рис. 2.

Результаты лабораторных изысканий и опытно-промышленной апробации подтвердили справедливость предложенной модели формирования цветовой окраски керамики с добавками-модификаторами цвета из техногенных отходов, содержащих оксиды металлов-хромофоров [24], и разработанного метода расчета состава гранулированных шихт из этих сырьевых материалов. По сравнению с контрольным образцом из 100 мас. % глинистого сырья (рис. 2, поз. 1) кирпич из проектных шихт после обжига имел выраженную окраску серого и коричневого цвета (рис. 2, поз. 2, 3). Видимых дефектов окрашивания, обжиговых трещин, вздутий и искривлений не наблюдалось.

Список литературы

1. Coletti C., Maritan L., Cultrone G., Mazzoli C. Use of industrial ceramic sludge in brick production: Effect on aesthetic quality and physical properties // *Construction and Building Materials*. 2016. No. 124, pp. 219–227. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.096>
2. Valanciene V., Siauciuonas R., Baltusnikaite J. The influence of mineralogical composition on the colour of clay body // *Journal of the European Ceramic Society*. 2010. No. 30, pp. 1609–1617. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.01.017>
3. Арискина К.А., Арискина Р.А., Салахов А.М., Вагизов Ф.Г., Ахметова Р.Т. Влияние химико-минералогического состава глин на цвет керамических материалов // *Вестник технологического университета*. 2012. Т. 19. № 24. С. 25–28.
4. Cultrone G., Sebastián E., de la Torre M.J. Mineralogical and physical behaviour of solid bricks with additives // *Construction and Building Materials*. 2005. Vol. 19, pp. 39–48. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.04.035>
5. Езерский В.А. Количественная оценка цвета керамических лицевого изделий // *Строительные материалы*. 2015. № 8. С. 76–80.

Заключение

Согласно разработанному методу расчета состава гранулированных шихт для декоративной стеновой керамики при использовании техногенных отходов с пониженным содержанием хромофоров (25–30% по химическому составу в пересчете на красящие оксиды и соли металлов), теоретически обосновано и экспериментально подтверждено выраженное изменение окраски обожженных изделий за счет формирования каркасно-окрашенной структуры. При этом расчетным путем определено оптимальное содержание добавки красящего компонента в количестве 5–10% по массе от состава шихты за счет ее концентрации на поверхности гранул из базового сырья.

На примере использования марганец- и ванадий-содержащего техногенного сырья в количестве 7–8 мас. % из гранулированных шихт расчетного состава запатентованным способом получены стеновые керамические материалы серых и коричневых цветов.

Дальнейшие исследования в этой области направлены на оптимизацию технологических параметров изготовления для достижения наилучшего сочетания декоративных и физико-механических свойств керамических изделий каркасно-окрашенной структуры.

References

1. Coletti C., Maritan L., Cultrone G., Mazzoli C. Use of industrial ceramic sludge in brick production: Effect on aesthetic quality and physical properties. *Construction and Building Materials*. 2016. No. 124, pp. 219–227. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.096>
2. Valanciene V., Siauciuonas R., Baltusnikaite J. The influence of mineralogical composition on the colour of clay body. *Journal of the European Ceramic Society*. 2010. No. 30, pp. 1609–1617. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.01.017>
3. Ariskina K.A., Ariskina R.A., Salahov A.M., Vagizov F.G., Ahmetova R.T. The influence of the chemical and mineralogical composition of clays on the color of ceramic materials. *Vestnik tehnologicheskogo universiteta*. 2012. Vol. 19. No. 24, pp. 25–28. (In Russian).
4. Cultrone G., Sebastián E., de la Torre M.J. Mineralogical and physical behaviour of solid bricks with additives. *Construction and Building Materials*. 2005. Vol. 19, pp. 39–48. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.04.035>
5. Ezerskiy V.A. Quantitative color assessment of ceramic facial products. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 8, pp. 76–80. (In Russian).
6. Valanchene V., Mandeikite N., Urusova E. Color intensity of ceramics with glauconite additives. *Steklo i keramika*. 2006. No. 3, pp. 23–25. (In Russian).
7. González I., Campos P., Barba-Brioso C., Romero A., Galán E., Mayoral E. A proposal for the formulation of high-quality ceramic “green” materials with traditional raw materials mixed with Al-clays. *Applied Clay Science*. 2016. Vol. 131, pp. 113–123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.12.035>

6. Валанчене В., Мандейките Н., Урусова Е. Интенсивность окраски керамики с добавками глауконитов // *Стекло и керамика*. 2006. № 3. С. 23–25.
7. González I., Campos P., Barba-Brioso C., Romero A., Galán E., Mayoral E. A proposal for the formulation of high-quality ceramic “green” materials with traditional raw materials mixed with Al-clays // *Applied Clay Science*. 2016. Vol. 131, pp. 113–123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.12.035>
8. Herek L.C.S., Hori C.E., Reis M.H.M., Mora N.D., Tavares C.R.G., Bergamasco R. Characterization of ceramic bricks incorporated with textile laundry sludge // *Ceramics International*. 2012. No. 38, pp. 951–959. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.08.015>
9. Phonphuak N., Saengthong C., Srisuwan A. Physical and mechanical properties of fired clay bricks with rice husk waste addition as construction materials. *Materials Today: Proceedings*. 2019. Vol. 17, pp. 1668–1674. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.197>
10. Кара-сал Б.К. Влияние железистых соединений на спекание глинистых масс при пониженном давлении среды обжига // *Стекло и керамика*. 2005. № 2. С. 13–16.
11. Голованова С.П., Зубехин А.П., Лихота О.В. Отбеливание и интенсификация спекания керамики при использовании железосодержащих глин // *Стекло и керамика*. 2004. № 12. С. 9–11.
12. Богданов А.Н., Абдрахманова Л.А., Гордеев А.С. Оценка эффективности карбонатсодержащей добавки в глинистое сырье для создания лицевой керамики // *Известия КазГАСУ*. 2013. № 2 (24). С. 215–220.
13. Вакалова Т.В., Погребенков В.М., Ревва И.Б. Причины образования и способы устранения высолов в технологии керамического кирпича // *Строительные материалы*. 2004. № 2. С. 30–31.
14. Пищ И.В., Масленникова Г.Н., Гвоздева Н.А., Климош Ю.А., Барановская Е.И. Методы окрашивания керамического кирпича // *Стекло и керамика*. 2007. № 8. С. 15–18.
15. Горлов Ю.П. Способы предотвращения высолов на керамическом кирпиче // *Строительные материалы*. 1996. № 11. С. 29–30.
16. Столбоушкин А.Ю. Улучшение декоративных свойств стеновых керамических материалов на основе техногенного и природного сырья // *Строительные материалы*. 2013. № 8. С. 24–29.
17. Русович-Югай Н.С. Влияние декстрина на свойства глазурей, керамических красок и восстановление оксида кобальта // *Стекло и керамика*. 2006. № 3. С. 20–22.
18. Масленникова Г.Н., Пищ И.В. Керамические пигменты. М.: Стройматериалы, 2009. 224 с.
19. Яценко Н.Д., Зубехин А.П. Научные основы инновационных технологий керамического кирпича и управление его свойствами в зависимости от химико-минералогического состава сырья // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 28–31.
8. Herek L.C.S., Hori C.E., Reis M.H.M., Mora N.D., Tavares C.R.G., Bergamasco R. Characterization of ceramic bricks incorporated with textile laundry sludge. *Ceramics International*. 2012. No. 38, pp. 951–959. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.08.015>
9. Phonphuak N., Saengthong C., Srisuwan A. Physical and mechanical properties of fired clay bricks with rice husk waste addition as construction materials. *Materials Today: Proceedings*. 2019. Vol. 17, pp. 1668–1674. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.197>
10. Kara-sal B.K. Influence of ferrous compounds on the sintering of clay masses under reduced pressure of the firing medium. *Стекло и керамика*. 2005. No. 2, pp. 13–16. (In Russian).
11. Golovanova S.P., Zubekhin A.P., Likhota O.V. Whitening and intensification of ceramic sintering using iron-containing clays. *Стекло и керамика*. 2004. No. 12, pp. 9–11. (In Russian).
12. Bogdanov A.N., Abdrakhmanova L.A., Gordeev A.S. Evaluation of the effectiveness of a carbonate-containing additive in clay raw materials for the facial ceramics creating. *Izvestiya KazGASU*. 2013. No. 2 (24), pp. 215–220. (In Russian).
13. Vakalova T.V., Pogrebenkov V.M., Revva I.B. Reasons for the formation and methods of efflorescence eliminating in ceramic brick technology. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2004. No. 2, pp. 30–31. (In Russian).
14. Pishch I.V., Maslennikova G.N., Gvozdeva N.A., Klimosh Yu.A., Baranovskaya E.I. Methods for ceramic bricks staining. *Стекло и керамика*. 2007. No. 8, pp. 15–18. (In Russian).
15. Gorlov Yu.P. Methods for efflorescence prevention on ceramic brick. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 1996. No. 11, pp. 29–30. (In Russian).
16. Stolboushkin A.Yu. Improving decorative properties of ceramic wall materials produced of technogenic and natural resources. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 8, pp. 24–29. (In Russian).
17. Rusovich-Yugai N.S. Dextrin influence on the properties of glazes, ceramic paints and cobalt oxide reduction. *Стекло и керамика*. 2006. No. 3, pp. 20–22. (In Russian).
18. Maslennikova G.N., Pishch I.V. Keramicheskie pigmenty [Ceramic pigments]. Moscow: Stroymaterialy. 2009. 224 p.
19. Yatsenko N.D., Zubekhin A.P. Scientific basis of innovative technologies of ceramic bricks and its properties management, depending on the chemical and mineralogical composition of raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 4, pp. 28–31. (In Russian).
20. Pivinskiy Yu.E. Kvartsevaya keramika. VKVS i keramobeton. Istoriya sozdaniya i razvitiya tekhnologii [Silica Ceramics. Highly concentrated ceramic astrigent suspensions and ceramic-concrete. History of creation and development of technologies]. Saint Petersburg: Politechnika print. 2018. 360 p.
21. Portnoi K.I., Salibekov S.E., Svetlov I.L., Chubarov V.M. Struktura i svoistva kompozitsionnykh mate-

20. Пивинский Ю.Е. Кварцевая керамика. ВКВС и керамобетоны. История создания и развития технологий. СПб.: Политехника принт, 2018. 360 с.
21. Портной К.И., Салибеков С.Е., Светлов И.Л., Чубаров В.М. Структура и свойства композиционных материалов. М.: Машиностроение, 1979. 255 с.
22. Федоркин С.И., Макарова Е.С. Утилизация дисперсных отходов производства в строительные материалы матричной структуры. *Строительство и техногенная безопасность: Сборник научных трудов*. Симферополь. 2010. Вып. 32. С. 70–74.
23. Верещагин В.И., Шильцина А.Д., Селиванов Ю.В. Моделирование структуры и оценка прочности строительной керамики из грубозернистых масс // *Строительные материалы*. 2007. № 6. С. 65–68.
24. Столбоушкин А.Ю., Акст Д.В., Фомина О.А. Разработка модели формирования цвета и распределения красящего компонента при обжиге керамики каркасно-окрашенной структуры // *Строительные материалы*. 2020. № 8. С. 38–46. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-783-8-38-46>
25. Патент РФ 2701657. *Способ получения сырьевой смеси для декоративной строительной керамики / Акст Д.В., Столбоушкин А.Ю., Фомина О.А.* Заявл. 19.12.2018. Опубл. 30.09.2019. Бюл. № 28.
26. Столбоушкин А.Ю., Акст Д.В., Фомина О.А., Сыромьясов В.А. Изменение интенсивности окраски декоративных керамических материалов матричной структуры // *Труды НГАСУ*. 2017. Т. 20. № 2 (65). С. 92–102.
27. Акст Д.В., Столбоушкин А.Ю. Разработка метода расчета состава шихты для декоративной керамики каркасно-окрашенной структуры // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2020. № 3 (33). С. 34–41.
28. Butensky M., Human D. Rotary drum granulation: an experimental study of the factors affecting granule size // *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*. 1971. Vol. 10. No. 2, pp. 212–219.
29. Белов В.В., Смирнов М.А. Строительные композиты из оптимизированных минеральных смесей. Тверь: ТвГТУ, 2012. 112 с.
30. Наумов М.М., Нохратян К.А. Справочник по производству строительной керамики. М.: Госстройиздат, 1962. 699 с.
31. Storozhenko G., Stolboushkin A. Ceramic bricks from industrial waste // *Ceramic & Sakhteman. Seasonal magazine of Ceramic & Building*. 2010. No. 5, pp. 2–6.
32. Королев Л.В., Лупанов А.П., Придатко Ю.М. Плотная упаковка полидисперсных частиц в композитных строительных материалах // *Современные проблемы науки и образования*. 2007. № 6. С. 109–114.
33. Aste T., Saadstfar M., Sakellariou A., Senden T. Investigating the geometrical structure of disordered sphere packaging // *Physica A*. 2004. Vol. 339, pp. 16–23.
34. Torquato S., Stillinger F.H. Multiplicity of generation, selection, and classification procedure for jammed hard particle // *Physical Review Letters*. 2000. Vol. 8, pp. 2064–2067.
- rialov [The structure and properties of composite materials]. Moscow: Mashinostroyeniye. 1979. 255 p.
22. Fedorkin S.I., Makarova E.S. Utilization of dispersed production wastes into building materials with matrix structure. *Construction and technogenic safety: digest of scientific papers*. Simferopol. 2010. Iss. 32, pp. 70–74. (In Russian).
23. Vereshchagin V.I., Shil'tsina A.D., Selivanov Yu.V. The structure modeling and strength evaluation of construction ceramics from coarse-grained masses. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 6, pp. 65–68. (In Russian).
24. Stolboushkin A.Yu., Akst D.V., Fomina O.A. Calculation of the composition of granular charges for decorative wall ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 8, pp. 38–46. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-783-8-38-46> (In Russian).
25. Patent RF 2701657. *Sposob polucheniya syr'evoi smesi dlya dekorativnoi stroitel'noi keramiki* [The method of obtaining a raw mix for decorative construction ceramics]. Akst D.V., Stolboushkin A.Yu., Fomina O.A. Declared 19.12.2018. Published 30.09.2019. Bulletin No. 28. (In Russian).
26. Stolboushkin A.Yu., Akst D.V., Fomina O.A., Syromyasov V.A. Change in color intensity of decorative ceramic materials with matrix structure. *Trudy NGASU*. 2017. Vol. 20. No. 2 (65), pp. 92–102. (In Russian).
27. Akst D.V., Stolboushkin A.Yu. Development of a method for calculating the composition of the charge for decorative ceramics with frame-painted structure. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta*. 2020. No. 3 (33), pp. 34–41. (In Russian).
28. Butensky M., Human D. Rotary drum granulation: an experimental study of the factors affecting granule size. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*. 1971. Vol. 10. No. 2, pp. 212–219.
29. Belov V.V., Smirnov M.A. Stroitel'nye kompozity iz optimizirovannykh mineral'nykh smesei [Building composites from optimized mineral mixtures]. Tver: TvGTU. 2012. 112 p.
30. Naumov M.M., Nokhratyan K.A. Spravochnik po proizvodstvu stroitel'noi keramiki [Handbook for the production of building ceramics]. Moscow: Gosstroyizdat. 1962. 699 p.
31. Storozhenko G., Stolboushkin A. Ceramic bricks from industrial waste. *Ceramic & Sakhteman. Seasonal magazine of Ceramic & Building*. 2010. No. 5, pp. 2–6.
32. Korolev L.V., Lupanov A.P., Pridatko Yu.M. Dense packing of polydisperse particles in composite building materials. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2007. No. 6, pp. 109–114. (In Russian).
33. Aste T., Saadstfar M., Sakellariou A., Senden T. Investigating the geometrical structure of disordered sphere packaging. *Physica A*. 2004. Vol. 339, pp. 16–23.
34. Torquato S., Stillinger F.H. Multiplicity of generation, selection, and classification procedure for jammed hard particle. *Physical Review Letters*. 2000. Vol. 8, pp. 2064–2067.

Л.А. АБДРАХМАНОВА, д-р техн. наук (laa@kgasu.ru), К.Р. ХУЗИАХМЕТОВА, аспирант (karina261996@mail.ru), Р.К. НИЗАМОВ, д-р техн. наук (Nizamov@kgasu.ru), В.Г. ХОЗИН, д-р техн. наук (khozin.vadim@yandex.ru)

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1)

Модификаторы для жестких поливинилхлоридных композиций строительного назначения

Приведено сравнение малых доз (до 0,7 мас. ч.) модификаторов ударной прочности зарубежного и отечественного производства в композициях на основе поливинилхлорида. Использованы отечественные акрилонитрил-бутадиен-стирольные модификаторы (АБС). Разработанные ударопрочные поливинилхлоридные композиции в присутствии эластификатора АБС обладают высокой текучестью расплава, что благоприятно сказывается на перерабатываемости. Изменение надмолекулярной структуры оценивалось по данным термомеханических испытаний и электронной микроскопии как для ненаполненных, так и для наполненных ПВХ-образцов. Термомеханический анализ показал, что присутствие модификатора АБС благоприятно сказывается на технологических свойствах образцов на основе ПВХ. Электронно-микроскопические снимки свидетельствуют о том, что в ненаполненных образцах гетерогенная ПВХ-структура выражена в меньшей степени в присутствии сополимера АБС по сравнению с зарубежными акриловыми модификаторами. При наполнении композиций микрогетерогенную структуру в дисперсионной среде наполнитель-полимер образуют частицы мела, при этом эластификатор АБС находится на границе раздела фаз. В силу особенностей строения АБС обладает большей степенью фиксации на поверхности частиц мела по сравнению с базовыми композициями, содержащими акриловые модификаторы, что при увеличении концентрации мела приводит к снижению износа поверхности формирующего оборудования.

Ключевые слова: поливинилхлорид, АБС, модификатор, смеси полимеров, профильно-погонажные изделия.

Авторы выражают благодарность компании АО «Пластик» за предоставленные порошкообразные модификаторы ударной прочности и перерабатываемости АБС-20П и АБС-28П, а также междисциплинарному центру «Аналитическая микроскопия» (КФУ) за проведение исследований микроструктуры образцов.

Для цитирования: Абдрахманова Л.А., Хузиахметова К.Р., Низамов Р.К., Хозин В.Г. Модификаторы для жестких поливинилхлоридных композиций строительного назначения // *Строительные материалы*. 2020. № 12. С. 34–39.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-34-39>

L.A. ABDRAKHMANOVA, Doctor of Sciences (Engineering) (laa@kgasu.ru), K.R. KHUZIAKHMETOVA, Graduate Student (karina261996@mail.ru), R.K. NIZAMOV, Doctor of Sciences (Engineering) (Nizamov@kgasu.ru), V.G. KHOZIN, Doctor of Sciences (Engineering) (khozin.vadim@yandex.ru) Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, Kazan, 420043, Russian Federation)

Modifiers for Rigid Polyvinylchloride Compositions of Building Purpose

A comparison of small doses (up to 0.7 mass part) of impact strength modifiers of foreign and domestic production in polyvinylchloride-based compositions is given. Domestic acrylic-nitrile-butadiene styrene modifiers (ABS) were used. The developed shock-resistant polyvinylchloride compositions in the presence of ABS elastifier have high melt fluidity, which has a beneficial effect on the recyclability. Changes in supramolecular structure were estimated from thermomechanical testing and electron microscopy data for both unfilled and filled PVC samples. Thermomechanical analysis showed that the presence of ABS modifier had a favorable effect on the technological properties of PVC-based samples. Electron-microscopic images indicate that in unfilled PVC samples, the heterogeneous PVC structure is expressed in the presence of ABS copolymer in comparison with foreign acrylic modifiers. When the compositions are filled with micro-heterogeneous structure in dispersion medium, the filler-polymer is formed by chalk particles, while ABS elastifier is at the phase interface. Due to the peculiarities of the structure ABS has a higher degree of "fixation" on the surface of the chalk particles in comparison with the basic compositions containing acrylic modifiers, which with increasing chalk concentration leads to lower wear and tear on the top of the forming equipment.

Keywords: polyvinyl chloride, ABS, modifier, polymer mixtures, profile-forming products.

The authors express their gratitude to the company JSC "Plastic" for the provided powdered modifiers of impact strength and processability ABS-20P and ABS-28P, as well as to the interdisciplinary center "Analytical Microscopy" (Kazan Federal University) for conducting studies of the microstructure of samples.

For citation: Abdrakhmanova L.A., Khuziakmetova K.R., Nizamov R.K., Khozin V.G. Modifiers for rigid polyvinylchloride compositions of building purpose. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 12, pp. 34–39. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-34-39>

Объем применения полимерных материалов в строительной отрасли определяется их функциональным назначением, а в силу этого теми требованиями, которые предъявляются к ним на стадии получения изделий, и, самое главное, техническими требованиями в процессе эксплуатации. Важным фактором при этом является крупнотоннажность полимеров, а также их способность к модификации с целью создания ударопрочных, морозостойких и теплостойких полимерных материалов. На стадии пере-

работки самым проблемным полимером из термопластов является поливинилхлорид – полимер № 1 в строительстве, так как в области температуры переработки проявляется его склонность к термической деструкции, в основном к дегидрохлорированию. В связи с этим ухудшаются как основные механические свойства, так и неуправляемо изменяется цвет материала в процессе переработки. Снизить температуру переработки можно, используя пластификаторы, что является решением при создании эластич-

ных гибких изделий. Но создание ПВХ-изделий из жестких композиций требует применения не пластификаторов, а технологических добавок из числа эластомеров различного химического строения. Обычно в композициях на основе ПВХ доминируют акриловые технологические добавки. Они представлены в виде различных сополимеров, которые обычно растворимы в ПВХ и образуют сетку зацеплений макромолекул полимера, что обуславливает как изменение закономерностей течения расплава в формующих машинах, так и в конечном счете изменение дисперсной структуры композитов и их функциональные свойства. Действие таких технологических добавок направлено как на облегчение перерабатываемости, так и на повышение ударопрочности, хотя увеличение ударопрочности требует достаточно больших доз эластомеров, а для регулирования перерабатываемости жестких ПВХ-композиций обычно достаточно от 0,5 до 2% добавок [1].

В обзорных работах [1–3] анализируются наиболее актуальные технологические добавки для жестких композиций на основе ПВХ. Особенно важным является вопрос выбора эффективных технологических добавок перерабатываемости для изделий строительного назначения по экструзионной технологии, где важно получение изделий заданного размера [4]. Причем для изделий разного функционального назначения предъявляются различные условия по режимам переработки. Например, при экструзии профилей желательна минимальная разбухание экструдата, что позволяет получать профили сложной геометрии с высокой точностью, например оконные.

Сополимер акрилонитрил-бутадиен-стирола (АБС) [5] в США считается самым высокоэффективным модификатором ударной прочности для ПВХ [6, 7]. В настоящее время на рынке появилась отечественная продукция АБС-пластиков как альтернатива привычным решениям использования в рецептурах жестких ПВХ-композиций акриловых модификаторов перерабатываемости.

Активное применение АБС в полимерных смесях на основе ПВХ началось с 1960 гг. [8]. Из работ [9–11] следует, что АБС эффективен и в высоконаполненных ПВХ-рецептурах. Кроме того, известно [12, 13], что АБС обладает свойствами модификатора перерабатываемости и даже придает смеси некоторый стабилизирующий эффект. Но такие свойства для различных базовых композиций исследованы в настоящее время недостаточно. В связи с этим в работе авторами рассмотрена перспективность применения АБС-пластиков в качестве модификаторов перерабатываемости в композициях для профильно-погонажных изделий. Причем если целью является повышение ударной прочности, то концентрация АБС должна быть достаточно высокой в смеси с ПВХ, а для облегчения перерабатываемости композиций эффективны всегда небольшие доли эластификаторов. В представленных исследованиях

использованы порошкообразные марки сополимеров АБС-20П и АБС-28П, выпускаемые в России Узловским заводом АО «Пластик». Эти добавки имеют температуру размягчения порядка 100°C и показатели текучести расплава при 220°C и 10 кгс не менее 5–12 г/10 мин для АБС-20П и 4–7 г/10 мин для АБС-28П. Были проведены исследования образцов базовых жестких профильных композиций ПВХ (базовых без наполнителя и наполненных мелом) с содержанием порошкообразных АБС-пластиков от 1 до 7 мас. ч. на 100 мас. ч. ПВХ.

В соответствии с классификацией Лутца и Данкельбергера [14] промышленные эластификаторы в зависимости от влияния переработки на их конечную морфологию в матрице ПВХ ориентировочно можно разделить на три группы модификаторов:

- не меняющие морфологию при переработке;
- меняющие морфологию при переработке;
- промежуточные модификаторы (имеют четко установленный размер частиц, однако могут изменяться при переработке).

АБС-полимеры относятся к третьей группе, поскольку при номинально установленном размере частиц на конечную морфологию диспергирования в ПВХ-матрице могут повлиять условия переработки [15]. В данной работе основное внимание уделено влиянию АБС-пластиков на параметры переработки, учету особенностей формирования надмолекулярной структуры композитов, а также изменению деформационного поведения материала в наполненных смесях ПВХ-АБС.

Для оценки влияния АБС на свойства ПВХ-композиций кроме основных технических показателей свойств композитов были проведены микроскопические исследования с целью установления структуры с помощью электронной микроскопии, а также определение термомеханических свойств композитов.

Распределение частиц по размерам и определение удельной поверхности частиц производились с помощью лазерного анализатора «Partica LA-950V2» фирмы «Horiba». Дифференциальные и интегральные кривые распределения представлены на рис. 1.

Средний размер частиц для АБС-20П составляет 199,5 мкм, а для АБС-28П – 116,5 мкм. Для АБС-20П характерна большая степень бимодальности в распределении частиц по размерам.

Приготовление смесей различных составов производили в лабораторном смесителе ЛДУ-3 МПР с пропеллерной насадкой в течение 4–5 мин при 700 об/мин. Для получения ПВХ-композиции в виде плоских профилей использовался лабораторный двухшнековый экструдер LabTechScientific LTE 16-40 сплюскашелевой формой фильеры. Предусмотренный обогрев экструзии регулировался по десяти зонам цилиндра и подбирался таким образом, чтобы при одинаковых скоростях вращения шнеков (14–16 об/мин) оптимальная загрузка двигателя составляла 30–50% от максимальной. Композиция находилась в цилиндре экструдера 8–10 мин. Образцы на выходе из фи-

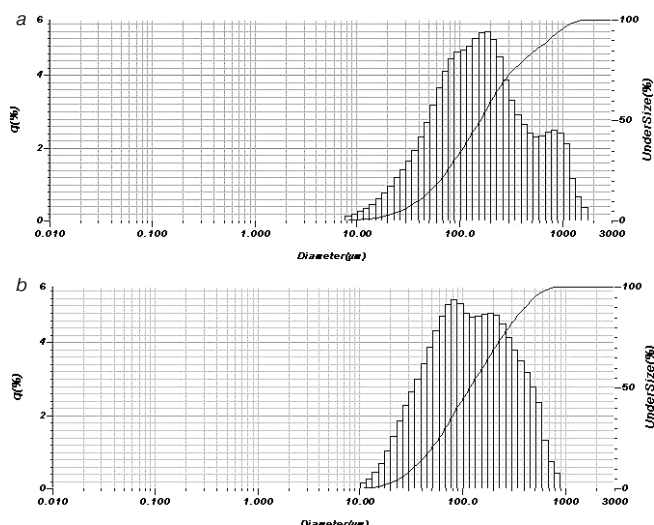


Рис. 1. Распределение частиц АБС-20П (а) и АБС-28П (b) по размерам
Fig. 1. Particle size distribution of ABS-20P (a) and ABS-28P (b)

льеры представляли собой плоские профили размером 2×30 мм или более (в зависимости от коэффициента разбухания расплава) и длиной 20–25 см.

Состав базовой композиции без наполнителя с зарубежным модификатором ударной прочности КанеАсе FM-50 в количестве 7 мас. ч., взятым для сравнения, следующий: ПВХ-6359 100 мас. ч., двухосновной стеарат свинца (ДОСС) 5 мас. ч. и стеарат кальция (СтСа) 3 мас. ч.

Для выбранных эффективных композиций был определен показатель текучести расплава (ПТР) (рис. 2). Заранее подготовленные пленочные образцы массой 3 г были нагреты до 185°C и нагружены 21,6 кг. Масса шести образцов полимеров, вышедших из капилляра диаметром 2 мм и достигнувших стабильного течения, определяла значение ПТР. Максимальное значение ПТР наблюдается при введении АБС-20П в количестве 1,7 мас. ч. на 100 мас. ч. ПВХ (при этом ПТР возрастает на 39% по сравнению с базовой рецептурой). Это может быть связано с формированием более однородной структуры с раз-

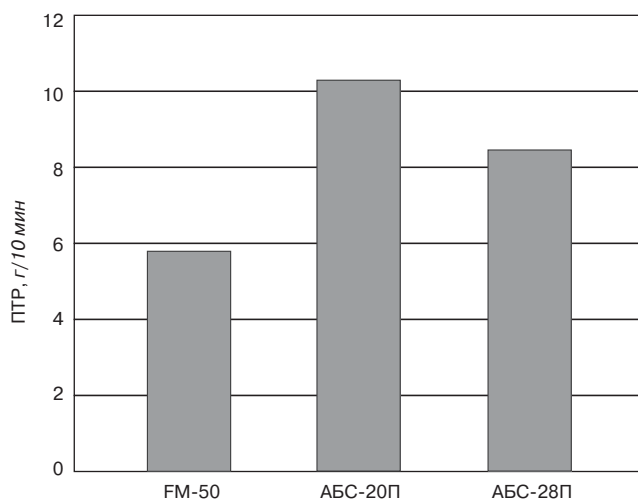


Рис. 2. Зависимость ПТР от вида модификатора
Fig. 2. Dependence of MYP on the type of modifier

рушением агломератов ПВХ, при отсутствии которых текучесть расплава увеличивается. Дальнейшее увеличение концентрации эластомеров не оказывает существенного влияния на ПТР, но, однако, прочностные свойства профилей значительно выше при больших концентрациях (до 7–10 мас. ч.). Практически во всех рецептурах ПВХ присутствуют наполнители, введение которых обычно снижает механические свойства.

Сополимеры ввиду их активности оказывают влияние на структуру полимера, в первую очередь изменяется надмолекулярная организация, т. е. происходит изменение размеров, форм и распределения микрорегетерогенных структурных единиц. Но при этом, как и в случае активности, например, наполнителей можно говорить и об их кинетической активности, т. е. о влиянии на подвижность отдельных элементов структуры матричного полимера на разных масштабных уровнях. Анализ таких изменений проведен на основании данных термомеханических испытаний и данных электронной микроскопии.

Данные обработки термомеханических кривых образцов (скорость подъема температуры 3°C/мин, удельная нагрузка сжатия 1 Н)

Data of processing of thermomechanical curves of samples (rate of temperature rise 3°C/min, specific compressive load 1 N)

№ п/п	Образец	$T_{ст}^{нач} - T_{ст}^{кон}$, °C	Область высокоэластического состояния, °C	Модуль высокоэластичности, Н/см ²	Высокоэластическая деформация, %	Эффективная плотность узлов физической сетки зацепления, моль/г
1	Без модификатора и наполнителя	97–126	80	7,16	28	$5,10 \times 10^{-6}$
2	С FM-50	96–133	73	7,19	28	$5,18 \times 10^{-6}$
3	С АБС-20П	94–137	63	7,16	28	$5,14 \times 10^{-6}$
4	С АБС-28П	93–135	62	7,01	28	$5,26 \times 10^{-6}$
5	С FM-50 + мел	95–125	69	6,2	32	$4,97 \times 10^{-6}$
6	С АБС-20П + мел	90–128	67	6,72	30	$4,82 \times 10^{-6}$
7	С АБС-28П + мел	98–127	71	6,57	30	$4,69 \times 10^{-6}$

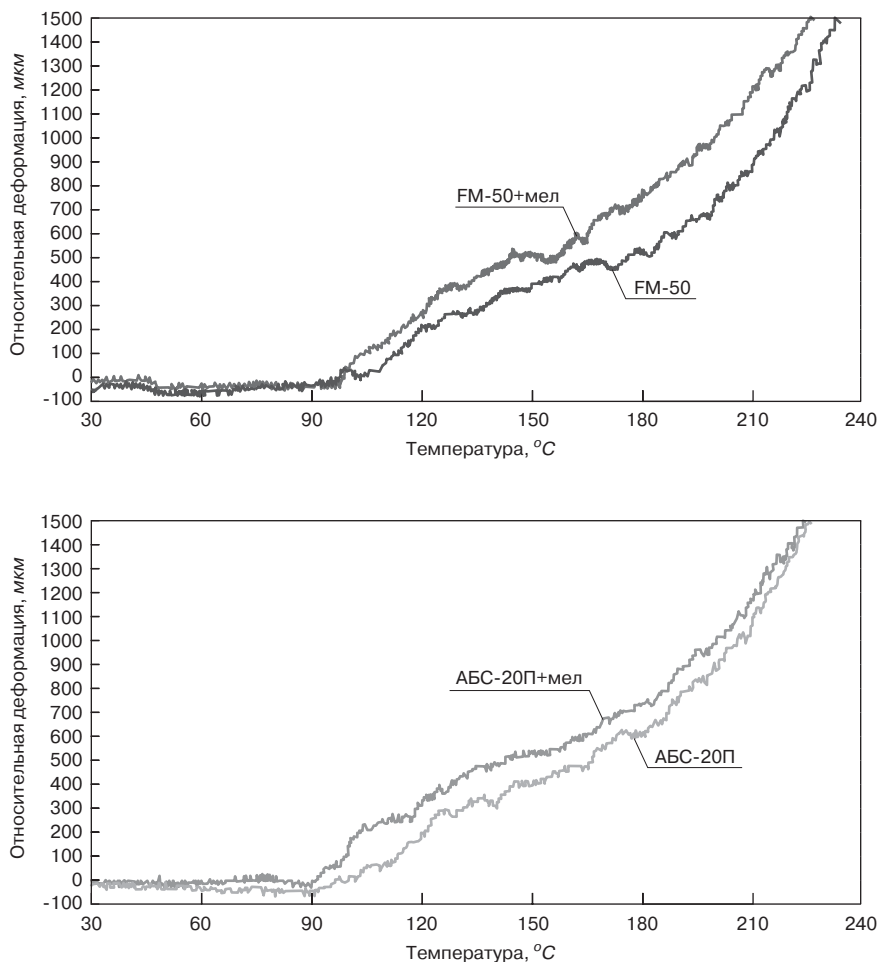


Рис. 3. Термомеханические кривые ненаполненных и наполненных образцов ПВХ
Fig. 3. Thermomechanical curves of unfilled and filled PVC samples

Термомеханические свойства полимеров удобно описывать с помощью термомеханической кривой, которая характеризует деформацию, развивающуюся за определенное время при разной температуре в условиях заданного статического напряжения. Согласно общепринятым понятиям, температура стеклования соответствует температуре, при которой начинает проявляться подвижность сегментов полимерных цепей. Адгезионное и адсорбционное взаимодействие под влиянием модификаторов могут отразиться на этой характеристике полимерного материала, поскольку приводят к эффективно-му росту числа узлов в пространственной сетке полимера.

На рис. 3 в качестве примера даны семейства термомеханических кривых ненаполненных и наполненных мелом образцов ПВХ.

Данные обработки термомеханических кривых представлены в таблице.

Из представленных в таблице данных следует:

1. Наличие модификаторов во всех случаях ведет к расширению области перехода из стеклообразного состояния и уменьшению области высокоэластичности, причем в наполненных образцах эти эффекты выражены в меньшей степени. Очевидно, это объясняется тем, что в присутствии эластификатора взаимодействие полимер–наполнитель идет через граничный слой эластомера, поэтому степень «заторможенности» макромолекул на границе с наполнителем выражена слабее. В случае большей степени наполнения возможно было бы выделить две температуры стеклования, однако в данном случае наблюдается только расширение области стеклования (содержание мела 7 мас. ч. на 100 мас. ч. ПВХ).

2. Модификаторы в присутствии мела по-разному влияют и на область высокоэластического состояния, а именно если в присутствии FM-50 введение мела ведет к сужению области высокоэластичности (таблица, сравнение образцов 2 и 5), то сополимеры АБС, наоборот, расширяют эту температурную область (таблица, образцы 3 и 6 для АБС-20П и образцы 4 и 7 для АБС-28П). Этот факт говорит о том, что в присутствии АБС имеет место большая величина единой флуктуационной сетки макромолекул.

3. Во всех случаях наполнение композиций очень незначительно увеличивает величину высокоэластической деформации, хотя закономерно было бы ожидать снижения величины этой деформации при наполнении. Этим вызвано и снижение модуля высокоэластичности при наполнении и соответственно

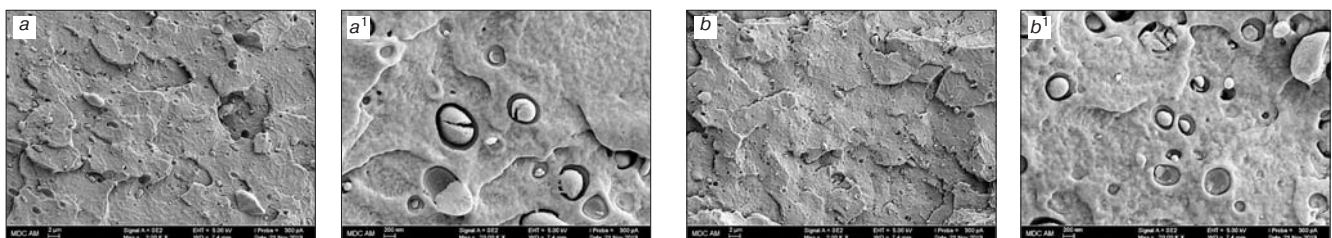


Рис. 4. Микрофотографии образцов ПВХ без наполнителя с FM-50 (a, a¹) и АБС-20П (b, b¹)
Fig. 4. Micrographs of PVC samples without filler with FM-50 (a, a¹) and АБС-20П (b, b¹)

уменьшение плотности узлов физической сетки зацеплений. Но следует подчеркнуть, что эти изменения очень незначительны.

4. По сравнению с модификатором FM-50 использование АБС ведет к снижению температуры текучести в ненаполненных рецептурах с 206 до 197°C. В наполненных композициях влияние природы модификатора не столь заметно: для всех композиций температура текучести находится примерно на одном уровне в пределе от 194 до 197°C.

Съемка морфологии поверхности хрупкого скола экструдированных образцов проводилась на автоэмиссионном высокоразрешающем сканирующем электронном микроскопе Merlin компании CarlZeiss при ускоряющем напряжении первичных электронов 5 кВ и зондовом токе 300 пА для минимального воздействия на объект исследования. Методика препарирования следующая: образцы помещались в жидкий азот, после чего производился скол. Сколы образцов фиксировались на держателе и помещались в камеру вакуумной установки Quorum Q 150TES. Нанесение проводящего слоя проводилось методом катодного распыления сплавом Au/Pd в соотношении 80/20. Толщина нанесенного слоя составляет 15 нм.

Микрофотографии хрупкого скола образцов с модификаторами FM-50 и АБС-20П без наполнителя представлены на рис. 4 при цене масштабного деления 2 мкм (a, b) и 200 нм (a^1, b^1).

Из анализа представленных на рис. 4 микрофотографий можно сделать следующий вывод: в ненапол-

ненных композитах фазовая гетерогенность выражена в значительно меньшей степени в присутствии АБС-пластика, чем в случае применения равного количества FM-50.

В композициях, содержащих мел, микрогетерогенная структура обусловлена наличием дисперсных частиц мела. Очевидно, что эластомеры располагаются на границе раздела наполнитель–полимер, при этом толщина граничных слоев значительно ниже уровня масштабирования, что затрудняет анализ микрофотографий наполненных образцов. Для тройного сополимера АБС ввиду большей степени взаимодействия его с поверхностью мела имеет место и большая степень фиксации его на поверхности частиц мела. Этот факт является положительным, так как при достаточно высоких количествах минерального наполнителя дает возможность снижения истирающего действия на поверхность формирующего оборудования. Кроме того, этим же фактом, очевидно, объясняется и повышение ПТР по сравнению с базовой композицией на 41%.

Таким образом, установлено, что наиболее эффективным модификатором является АБС-20П (в количестве до 7 мас. ч.). Результаты исследования могут быть рекомендованы для внедрения на предприятиях по изготовлению профильно-погонажных изделий для внутренней отделки и наружного применения (в последнем случае после проведения испытаний на стойкость к атмосферным воздействиям).


Список литературы

1. Пол Д.Р., Бакнелл К.Б. Полимерные смеси. Т. 1: Систематика / Пер. с англ. под ред. В.Н. Кулезнева. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. 618 с.
2. Пол Д.Р., Бакнелл К.Б. Полимерные смеси. Т. 2: Функциональные свойства / Пер. с англ. под ред. В.Н. Кулезнева. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. 606 с.
3. Шиллер М. Добавки к ПВХ. Состав, свойства, применение / Пер. с англ. под ред. Н.Н. Тихонова. СПб.: Профессия, 2017. 400 с.
4. Эллис П. Рынок высокоэффективных эластомеров // *Полимерные материалы*. 2017. № 4. С. 4–7.
5. Мымрин В.Н. «Интерпластика-2020»: краткие итоги // *Полимерные материалы*. 2020. № 4. С.15–33.
6. Mehdipour M. R., Talebi S., Razavi Aghjeh M.K. Effect of unplasticized poly vinyl chloride (UPVC) molecular weight and graft-acrylonitrile-butadiene-styrene (g-ABS) content on compatibility and izod impact strength of UPVC/g-ABS blends // *Journal of Macromolecular Science: Physics*. 2017. Vol. 56. Iss. 9, pp. 644–654. DOI: <https://doi.org/10.1080/00222348.2017.1360684>
7. Барсамян Г. Модификаторы для жесткого ПВХ // *Пластикс*. 2017. № 3 (165). С. 21–23.

References



1. Pol D.R., Baknell K.B. Polimernyesmesi. Tom 1: Sistematika [Polymer mixtures. Vol. 1: Taxonomy. Trans. from English, edited by V.N. Kuleznev]. Saint Petersburg: Nauchnye osnovy i tekhnologii. 2009. 618 p.
2. Pol D.R., Baknell K.B. Polimernye smesi. Tom 2: Funktsional'nye svoistva [Polymer mixtures. Vol. 2: Functional Properties. Trans. from English, edited by V.N. Kuleznev]. Saint Petersburg: Nauchnye osnovy i tekhnologii. 2009. 606 p.
3. Schiller M. Dobavki k PVKh. Sostav, svoistva, primeneniye [PVC additives. Composition, properties, application. Trans. from English edited by N.N. Tikhonov]. Saint Petersburg: Professiya. 2017. 400 p.
4. Ellis P. Market of highly efficient elastomers. *Polimernye materialy*. 2017. No. 4, pp. 4–7. (In Russian).
5. Mymrin V.N. «Interplastika-2020»: brief results. *Polimernye materialy*. 2020. No. 4, pp. 15–33. (In Russian).
6. Mehdipour M. R., Talebi S., RazaviAghjeh M.K. Effect of unplasticized poly vinyl chloride (UPVC) molecular weight and graft-acrylonitrile-butadiene-styrene (g-ABS) content on compatibility and izod impact strength of UPVC/g-ABS blends. *Journal of Macromolecular Science: Physics*. 2017. Vol. 56. Iss. 9, pp. 644–654. DOI: <https://doi.org/10.1080/00222348.2017.1360684>
7. Barsamyan G. Modifiers for rigid PVC. *Plastiks*. 2017. Vol. 165. Iss. 3, pp. 21–23. (In Russian).

8. Patent GB 841889. *Blend of polymeric products* / Borg Warner Corp. Declared 08.04.1957. Published 20.07.1960. Bulletin No. 20.
9. Матеевич А.В., Аскадский А.А. Зависимость модуля упругости от состава смесей поливинилхлорида с АБС-пластиком. *Материалы Международной научно-практической конференции*. Вологда, 2016. С. 36–37.
10. Матеевич А.В. Структура и свойства строительных материалов на основе наномодифицированных композитов и смесей полимеров. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2019. 156 с.
11. Аскадский А.А., Матеевич Т.А., Попова М.Н., Кондращенко В.И. Прогнозирование совместности полимеров, анализ состава микрофаз и ряда свойств смесей // *Высокомолекулярные соединения. Серия А*. 2015. Т. 57. № 2. С. 162–175. DOI: <https://doi.org/10.7868/S2308112015020029>
12. Кулезнев В.Н. Смесии сплавы полимеров (конспект лекций). СПб.: Научные основы и технологии, 2013. 216 с.
13. Уилки Ч., Саммерс Дж., Даниелс Ч. Поливинилхлорид / Пер. с англ. под ред. Г.Е. Заикова. СПб.: Профессия, 2007. 728 с.
14. Lutz J.T., Dunkelberger D.L. *Impact Modifiers for PVC*. New York: John Wiley & Sons, 1992. 205 p.
15. Шерышев М.А., Тихонов Н.Н. Производство профильных изделий из ПВХ. СПб.: НОТ, 2015. 613 с.



XV Международный симпозиум по реологии грунтов «Теория и практика фундаментостроения»

г. Казань 2–4 июня 2021 г.

Тематика XV Международного симпозиума по реологии грунтов:

- Теория и реологические модели грунтов
- Экспериментальные исследования геотехнических систем
- Экспериментальная реология грунтов
- Аналитические решения на основе реологических моделей
- Теория и расчетные модели грунтов, опыт решения геотехнических задач
- Численное моделирование НДС массивов на основе реологических моделей

Организаторы симпозиума:
 Российское общество по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению (РОМГГиФ)
 Казанский государственный архитектурно-строительный университет
 Министерство строительства архитектуры и жилищно-коммунальных хозяйств Республики Татарстан

Организационный комитет симпозиума:
 Председатель:
Р.К. Низамов – ректор КГАСУ д.т.н., профессор
 Заместители председателя:
И.Т. Мирсяпов – зав. кафедрой ОФДСиИГ КГАСУ д.т.н., профессор
З.Г. Тер-Мартirosян – профессор кафедры геотехники НИУ МГСУ д.т.н., профессор

Информационные спонсоры
 Научно-технический журнал «Основания, фундаменты и механика грунтов»
 Журнал «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета»
 Журналы «Жилищное строительство», «Строительные материалы», «Бетон и железобетон»

Секретариат: И.В. Королева – КГАСУ, г. Казань; Д.Д. Сабирзянов – КГАСУ, г. Казань
Адрес секретариата: 420043 г. Казань ул. Зелёная, 1, КГАСУ, каф. ОФДСиИГ
 Тел. 8-095-170-27-67 (Г.К. Фурсова); Тел. 8-843-510-47-15 (И.В. Королева, Д.Д. Сабирзянов)
 Факс: 8-843-238-79-72, e-mail: mirsayapov1@mail.ru
 Для регистрации в качестве участника XV Международного симпозиума по реологии грунтов обращайтесь по электронному адресу: e-mail: reologiya@mail.ru или по факсу: +7-843-238-79-72

А.В. КАКЛЮГИН¹, канд. техн. наук (kaklugin@gmail.ru),
Л.И. КАСТОРНЫХ¹, канд. техн. наук (likas9@mail.ru);
Н.С. СТУПЕНЬ², канд. техн. наук (chemskorp@yandex.ru),
В.В. КОВАЛЕНКО², старший преподаватель (kvv0407@rambler.ru)

¹ Донской государственный технический университет (344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162)

² Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина (224016, г. Брест, бульвар Космонавтов, 21, Республика Беларусь)

Прессованные композиты на основе модифицированного гипсового вяжущего повышенной воздухоустойчивости

Водоустойчивость природных и искусственных строительных материалов принято оценивать по величине коэффициента размягчения. Однако в процессе эксплуатации материалы, например для ограждающих конструкций зданий, крайне редко подвергаются полному обезвоживанию или водонасыщению. Поэтому одним из важнейших критериев долговечности таких изделий является их стойкость к атмосферным воздействиям (воздухоустойчивость), оцениваемая путем проведения более жестких испытаний на попеременное увлажнение и высушивание. В настоящей работе изучена возможность повышения воздухоустойчивости прессованных композитов на основе модифицированного гипсового вяжущего. Разработан комплексный модификатор гипсового вяжущего вещества и структуры получаемых прессованных композитов, состоящий из карбонатсодержащего шлама химводоочистки теплоэлектростанций и моноаммонийфосфата. Исследовано влияние модификатора на изменение прочности при сжатии прессованных композитов в высушенном и водонасыщенном состоянии, коэффициентов размягчения и воздухоустойчивости, а также линейных деформаций контрольных образцов после установленного количества циклов попеременного увлажнения и высушивания. Установлено, что прессованные композиты на основе модифицированного гипсового вяжущего обладают высокой стойкостью к попеременному увлажнению-высушиванию. Комплексный модификатор обеспечивает формирование более прочной и монолитной структуры мелкокристаллического дигидрата сульфата кальция, дополнительно упрочненной труднорастворимым фосфатно-карбонатным каркасом. Предлагаемый способ модификации гипсового вяжущего препятствует расшатыванию структуры изготовленного из него прессованного камневидного материала при знакопеременных напряжениях, уменьшает линейные деформации и, как следствие, замедляет его усталостное разрушение. Технические характеристики полученных материалов являются достаточными для их использования, в частности в ограждающих конструкциях зданий.

Ключевые слова: гипсовые вяжущие вещества, водоустойчивость, прессованные композиты, воздухоустойчивость, шлам химводоочистки теплоэлектростанций, моноаммонийфосфат, наилучшие доступные технологии.

Для цитирования: Каклюгин А.В., Касторных Л.И., Ступень Н.С., Коваленко В.В. Прессованные композиты на основе модифицированного гипсового вяжущего повышенной воздухоустойчивости // *Строительные материалы*. 2020. № 12. С. 40–46.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-40-46>

A.V. KAKLYUGIN¹, Candidate of Sciences (Engineering) (kaklugin@gmail.ru), L.I. KASTORNYKH¹, Candidate of Sciences (Engineering) (likas9@mail.ru);
N.S. STUPEN², Candidate of Sciences (Engineering) (chemskorp@yandex.ru), V.V. KOVALENKO², Senior lecturer (kvv0407@rambler.ru)

¹ Don State Technical University (162, Sotsialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation)

² Brest State A.S. Pushkin University (21, Kosmonavtov bul., Brest, 224016, Belarus)

Press- Formed Composites with Alternate Wetting and Drying Resistance Based on Modified Gypsum Binder

Water resistance of natural and artificial building materials is usually estimated by the softening coefficient. However, in the course of operation, materials, for example, for building enclosing structures, are rarely subjected to complete dewatering or water saturation. Therefore, one of the most important criteria for the durability of such products is their resistance to atmospheric influences (alternate wetting and drying resistance). In the present work, the possibility of increasing the alternate wetting and drying resistance of press-formed composites based on a modified gypsum binder is studied. We have developed a complex modifier of the gypsum binder and the structure of the resulting pressed composites, consisting of carbonate-containing slime of chemical water purification of thermoelectric power station and monoammonium phosphate. We studied the effect of the modifier on changes in the compressive strength of pressed composites in the dried and water-saturated state, softening and atmospheric durability coefficients, as well as linear deformations of control samples after a set number of cycles of alternating wetting and drying. We found that press-formed composites based on a modified gypsum binder are highly resistant to alternating wetting and drying. The complex modifier provides the formation of a more solid and monolithic structure of fine-crystalline calcium sulfate dihydrate, additionally reinforced with a hardly soluble phosphate-carbonate framework. The proposed method of modifying the gypsum binder prevents loosening of the structure of the press-formed stone-like material made from it under alternating stresses, reduces linear deformations and, as a result, slows down its fatigue failure. The technical characteristics of the obtained materials are sufficient for their use, in particular, in building enclosing structures.

Keywords: low-temperature calcined gypsum binder, water resistance, press-formed composites, alternate wetting and drying resistance, slime of chemical water purification of thermoelectric power station, monoammonium phosphate, best available technologies.

For citation: Kaklyugin A.V., Kastornykh L.I., Stupen N.S., Kovalenko V.V. Press-formed composites with alternate wetting and drying resistance based on modified gypsum binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 12, pp. 40–46. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-40-46>

Технология изготовления гипсовых строительных изделий методом прессования из полусухих смесей заинтересовала многих исследователей и практиков еще в середине прошлого столетия. Их привлекала

прежде всего повышенная прочность получаемых прессованных композитов, а также возможность исключения из технологического процесса производства изделий длительной и энергозатратной искус-

ственной сушки [1, 2]. Несколько позднее результаты исследований научной школы проф. А.В. Волженского объяснили, что при содержании воды в формовочной смеси в количестве, близком к теоретически необходимому только для гидратации вяжущего вещества, в прессованном искусственном камне формируется высокопрочная мелкокристаллическая структура дигидрата сульфата кальция. В отсутствие излишка жидкой фазы в системе исключается перекристаллизация высокодисперсных новообразований в более крупные кристаллы, обладающие пониженной связующей способностью [3, 4]. Однако в настоящее время метод уплотнения формовочных смесей прессованием в технологии производства гипсовых изделий имеет ограниченное применение. Несмотря на технологичность и высокую прочность прессованных гипсовых кирпичей, стеновых камней, многпустотных замковых блоков и облицовочных плит, более широкое распространение данного метода формования сдерживают, с одной стороны, повышенный расход вяжущего вещества на 1 м³ готовой продукции, а с другой — низкая водостойкость самих изделий. С целью устранения указанных недостатков авторами разработан комплексный модификатор гипсового вяжущего вещества и структуры получаемых прессованных композитов, состоящий из карбонатсодержащего наполнителя — шлама химводоочистки ТЭЦ и однозамещенной соли ортофосфорной кислоты — моноаммонийфосфата (NH₄H₂PO₄). В результате химического взаимодействия моноаммонийфосфата с сульфатом кальция вяжущего и карбонатом кальция наполнителя на поверхности частиц гидратных новообразований и зерен шлама образуются экранирующие фазовые пленки из труднорастворимого дигидрата дикальцийфосфата (CaHPO₄·2H₂O). Это соединение является изоморфным с двухводным гипсом, обладает по сравнению с ним в 10 раз меньшей растворимостью и изменяет характер кристаллизационной структуры прессованного материала. Пленки из труднорастворимого фосфата кальция на элементах кристаллизационной структуры материала оказывают на нее дополнительное цементирующее действие, способствуют повышению ее прочности и водостойкости [5, 6]. Следует также отметить, что образование этих пленок на поверхности зерен гипсового вяжущего в начальный период его твердения значительно замедляет гидратацию, что является положительным технологическим фактором при формировании изделий из смесей с низкими водогипсовыми отношениями. Выявлена возможность замены значительного количества гипсового вяжущего вещества в формовочных смесях (до 40%) на шлам химводоочистки ТЭЦ. Прессованные композиты на основе модифицированного вяжущего при этом сохраняют высокую механическую прочность, но приобретают повышенную водостойкость, а использование в качестве одного из компонентов комплексного модификатора вторичного ресурса обуславливает снижение себестоимости изделий и по-

зволяет отнести предлагаемый способ их производства к наилучшим доступным технологиям [7, 8].

Водостойкость природных и искусственных строительных материалов принято оценивать по величине коэффициента размягчения, вычисляемого как соотношение их прочности при сжатии в водонасыщенном и сухом состоянии. Проблема повышения водостойкости гипсовых материалов и изделий с целью расширения их использования в строительстве на протяжении многих лет находится в центре внимания отечественных и зарубежных исследователей [9]. На практике при решении этой задачи наибольших успехов удалось достичь за счет разработки составов смешанных гипсовых вяжущих веществ — гипсоцементно-пуццоланового, гипсошлакоцементно-пуццоланового и гипсоизвестково-шлакового [10, 11]. При этом известно, что низкая водостойкость затвердевшего дигидрата сульфата кальция без гидравлических добавок обусловлена его значительной растворимостью (около 2 г на 1 л воды), ослабляющей связи между кристаллами искусственного камня при увлажнении [12], а также расклинивающим действием на структуру материала водных пленок, адсорбирующихся на внутренних поверхностях микротрещин и пор [13]. Кроме того, результаты предыдущих исследований авторов показывают, что водостойкость прессованных композитов на основе воздушных вяжущих веществ особенно тесно связана с величиной их остаточной открытой пористости. Независимо от вида и количества модифицирующих добавок, значения водогипсового отношения и величины прессующего давления коэффициент размягчения прессованного материала уменьшается пропорционально увеличению его открытой пористости [14].

Однако, по мнению многих ученых [15, 16], нельзя судить о долговечности мелкоштучных стеновых изделий на основе воздушных вяжущих веществ только на основании оценки коэффициента размягчения. Следует учитывать, что в процессе эксплуатации такие материалы крайне редко подвергаются полному обезвоживанию или водонасыщению, а в представленном случае прессованные композиты на основе модифицированного гипсового вяжущего даже при значениях коэффициента размягчения 0,6–0,7 сохраняют достаточно высокую прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии [5, 6]. Поэтому, по мнению авторов, одним из важнейших критериев долговечности строительных материалов и изделий для ограждающих конструкций зданий является их стойкость к атмосферным воздействиям (воздухостойкость), оцениваемая путем проведения более жестких испытаний на попеременное увлажнение и высушивание. Такие циклические воздействия расшатывают структуру материала, ускоряют трещинообразование, снижают стойкость к агрессивным воздействиям. В итоге это приводит к разрушению изделий, объясняемому прежде всего изменением их объема в наружных и внутренних зонах и, как следствие, появле-

нием значительных растягивающих и скалывающих напряжений.

В настоящей работе представлены результаты исследований по оценке воздухоустойчивости прессованных композитов на основе низкомарочного гипсового вяжущего β -модификации, повышение водостойкости которого было достигнуто за счет совместного введения в его состав карбонатсодержащего шлама химводоочистки теплоэлектростанций и моноаммонийфосфата.

Материалы и методы

В экспериментальных исследованиях применяли гипсовое вяжущее Г-5 Б II по ГОСТ 125–2018.

В качестве первого компонента комплексного модификатора гипсового вяжущего использовали тонкодисперсный наполнитель – шлам химводоочистки ТЭЦ-2 г. Ростова-на-Дону, образующийся при смягчении речной воды гашеной известью и содой. Содержащиеся в воде гидрокарбонаты кальция и магния в процессе ее смягчения переходят в нерастворимый осадок. После осаждения и фильтрации шлам в количестве до 15 т в сутки выбрасывается в отвал. Высушенный наполнитель представляет собой порошок желтоватого цвета с удельной поверхностью $780 \text{ м}^2/\text{кг}$, состоящий, согласно данным химического, дериватографического и ряда других анализов, на 75% из карбоната кальция. Роль второго компонента комплексного модификатора играл моноаммонийфосфат (однозамещенный фосфат аммония). Эту соль получают в результате нейтрализации ортофосфорной кислоты аммиаком и широко применяют в сельском хозяйстве в качестве минерального удобрения. В водных растворах моноаммонийфосфат образует кислую среду с $\text{pH}=3,8$, поскольку кроме гидролиза этой соли одновременно происходит диссоциация дигидрофосфат-иона (H_2PO_4^-), преобладающая над процессом гидролиза.

Приготовление исследуемых сырьевых смесей осуществляли на лабораторной бегунковой растворешалке. Продолжительность перемешивания увлажненной формовочной смеси устанавливали опытным путем и варьировали в пределах от 2 до 20 мин [17]. Оценку стойкости материалов к попеременному увлажнению-высушиванию проводили на образцах-цилиндрах высотой и диаметром 50,5 мм. Образцы изготавливали методом прессования под давлением 40 МПа в специальных пресс-формах из формовочных смесей нескольких составов. Перед испытаниями образцы 28 сут твердели в воздушно-сухих условиях, а затем их высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре $55 \pm 2^\circ\text{C}$.

Стойкость образцов к попеременному увлажнению-высушиванию изучали следующим образом. Сначала образцы в течение 3 ч выдерживали в воде при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$, а затем в течение 15 ч на воздухе с такой же температурой. После этого их высушивали в течение 6 ч в сушильном шкафу при температуре $55 \pm 2^\circ\text{C}$. Указанные операции по водонасы-

щению и высушиванию принимали за один цикл испытаний. Принятую в опытах продолжительность выдерживания образцов в воде определяли из условия, что в течение этого времени их водонасыщение достигает примерно 85% максимально возможного значения. После каждых 10 циклов для физико-механических испытаний отбирали по 10 образцов, половину которых испытывали в высушенном до постоянной массы состоянии, а остальные – в водонасыщенном. По показателям прочности образцов при сжатии определяли коэффициенты размягчения и воздухоустойчивости. Последний вычисляли как частное деления прочности высушенных до постоянной массы образцов, прошедших N циклов испытаний, к прочности контрольных образцов (при нулевом цикле испытаний). Считали, что материал выдерживает испытания, если коэффициент воздухоустойчивости остается не менее 0,75.

Возникновение и развитие необратимых деформаций при попеременных увлажнениях-высушиваниях изучали на образцах-призмах размером $40 \times 40 \times 160$ мм, в торцах которых в процессе формирования были зафиксированы стальные пластинки размером 40×40 мм с анкерами. Измерение деформаций производили с помощью штатива с индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм. Углубления, сделанные керном в геометрических центрах анкерных пластинок, обеспечивали измерение деформаций в одних и тех же точках. Контроль надежности измерений и учет температурных погрешностей обеспечивали с помощью стального эталона, имеющего такие же геометрические характеристики, как и опытные образцы. Перед измерением деформаций производили отсчет по эталону, после чего последний помещали в воду, где находились образцы, подлежащие очередным измерениям. По окончании измерения деформаций всех образцов эталон извлекали из воды и снимали второй отсчет. Разность размеров до и после помещения эталона в воду учитывали при подсчете величины деформации. Измерения образцов производили через каждые 10 циклов попеременного увлажнения и высушивания.

Результаты и их обсуждение

Оценку стойкости прессованных композитов на основе модифицированного гипсового вяжущего к попеременному увлажнению и высушиванию проводили с использованием контрольных образцов, отформованных из смесей, составы которых в предварительных опытах показали наилучшие результаты по прочности при сжатии и водостойкости. Составы исследуемых формовочных смесей приведены в табл. 1, а физико-механические характеристики отформованных их образцов – в табл. 2.

Характер изменения прочности при сжатии образцов в сухом и водонасыщенном состоянии по мере увеличения числа циклов попеременного увлажнения-высушивания представлен на рис. 1.

Таблица 1
Table 1Составы формовочных смесей
The compositions of the molding compounds

Номер состава	Содержание компонентов, мас. %		Добавка моноаммоний-фосфата, сверх 100 %	Водо-твердое отношение
	Гипсовое вяжущее	Шлам химводо-очистки ТЭЦ		
1	100	0	0	0,52
2	100	0	0	0,19
3	80	20	2	0,17
4	80	20	2	0,185
5	80	20	2	0,2
6	60	40	2	0,17

Из полученных данных видно, что механическая прочность образцов всех составов уменьшается по мере нарастания числа циклов испытаний. Однако наиболее заметно снижение прочности у образцов составов 1 и 2, т. е. изготовленных соответственно из гипсового теста нормальной густоты и прессованного гипсового вяжущего без добавок. Прессованные образцы с добавками шлама химводоочистки и моноаммонийфосфата (составы 3–6) оказались значительно более стойкими к попеременному увлажнению и высушиванию. Так, если принять допустимое снижение начальной прочности материала в процессе циклических испытаний не более чем на 25%, то по показателям прочности в высушенном состоянии образцы 1-го состава выдержали 65 циклов испытаний, 2-го состава – 55 циклов, 3-го и 5-го составов – 115 циклов, а указанного снижения прочности 4-го и 6-го составов не произошло и после 120 циклов попеременных увлажнений и высушиваний. Следует отметить, что снижение прочности образцов на 25% в водонасыщенном состоянии фиксируется при меньшем числе циклов увлажнения и высушивания. У образцов 1-го и 2-го составов оно наступает соответственно через 60 и 25 циклов испытаний, 3-го состава – через 65 циклов, 4-го и 5-го составов – через 75 циклов. Снижение прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии образцов, отформованных из 6-го состава, содержащего наибольшее количество

шлама химводоочистки, происходит уже через 35 циклов испытаний, однако при последующих циклах испытаний уменьшение этого показателя замедляется. Как видно из рис. 1, прочность сухих и водонасыщенных образцов 2, 3, 4 и 5-го составов в первые 20 циклов испытаний несколько увеличивается. Наиболее это заметно у образцов 3-го состава, прочность в высушенном состоянии которых увеличивается на 15%. Однако при нарастании числа циклов попеременных увлажнений-высушиваний этот состав, содержащий около 5% негидратированного вяжущего, характеризуется наибольшим сбросом прочности по сравнению с образцами 4-го и 5-го составов.

Отмеченное увеличение прочности образцов указанных выше составов можно объяснить сложными физико-химическими процессами, происходящими в структуре прессованного материала при попеременных увлажнении-высушивании. Они связаны с дополнительной гидратацией полугидрата сульфата кальция, а также перекристаллизацией мелких кристаллов дигидрата в более крупные. Происходящие процессы сопровождаются, по-видимому, увеличением удельной поверхности новообразований, что приводит к уплотнению структуры затвердевшего камня и снижению его открытой пористости. В исследованиях авторов это хорошо согласуется с представленным на рис. 2 изменением водопоглощения по массе образцов по мере нарастания числа циклов попеременных увлажнений и высушиваний.

Водопоглощение образцов 3-го состава до начала испытаний составляло 7,3%. Через 20 циклов испытаний оно понизилось до 6,5%, еще через 10 циклов до 6,2%, а в дальнейшем наблюдается рост водопоглощения образцов этого состава. Менее заметно через 20 циклов увлажнений-высушиваний уменьшается водопоглощение образцов 2-го и 4-го составов, а у 1, 5 и 6-го составов в эти сроки оно остается неизменным.

Сопоставляя данные изменения прочности образцов (рис. 1) и их водопоглощения по массе (рис. 2) с увеличением числа циклов испытаний, можно проследить закономерность: чем больше прирост прочности материала в первые циклы испытаний, тем заметнее снижается его водопоглощение по массе, тем раньше в дальнейшем наступает 25% сброс прочности исследуемых образцов.

Таблица 2
Table 2Физико-механические характеристики исследуемых модифицированных вяжущих
Physical and mechanical characteristics of the modified binders under study

Номер состава	Предел прочности при сжатии, МПа, образцов		Коэффициент размягчения	Средняя плотность, кг/м ³	Водопоглощение, %	Открытая пористость, %
	сухих	водонасыщенных				
1	10,8	5,7	0,53	1200	28,4	34
2	32	5,3	0,17	1800	11	19,8
3	59,5	38,2	0,64	1930	7,3	14
4	61,7	44	0,71	1950	5,8	11,3
5	54,5	36,5	0,67	1940	8	15,5
6	46,8	29,5	0,63	1860	8,5	15,8

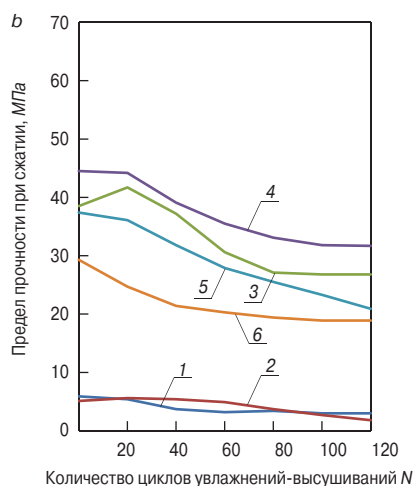
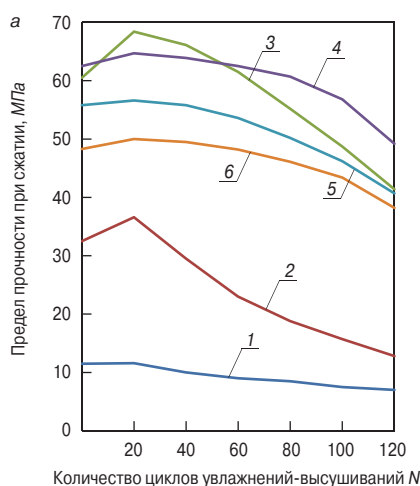


Рис. 1. Зависимость прочности образцов при сжатии в высушенном (а) и водонасыщенном (б) состоянии от числа циклов попеременного увлажнения и высушивания: 1–6 – номера составов

Fig. 1. The dependence of the compressive strength of samples in the dried (a) and water-saturated (b) state on the number of cycles of alternate wetting and drying: 1–6 – composition numbers

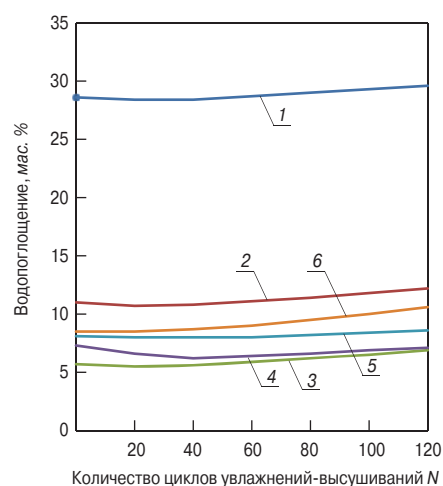


Рис. 2. Зависимость водопоглощения по массе образцов от числа циклов попеременного увлажнения и высушивания: 1–6 – номера составов

Fig. 2. The dependence of water absorption by mass of samples on the number of cycles of alternate wetting and drying: 1–6 – composition numbers

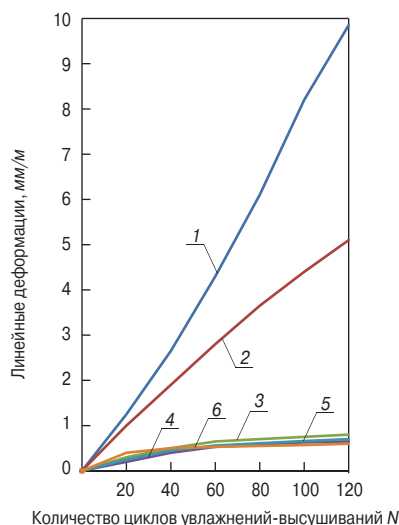


Рис. 3. Линейные деформации образцов при попеременном увлажнении и высушивании: 1–6 – номера составов

Fig. 3. The linear deformations of samples during wetting and drying: 1–6 – composition numbers

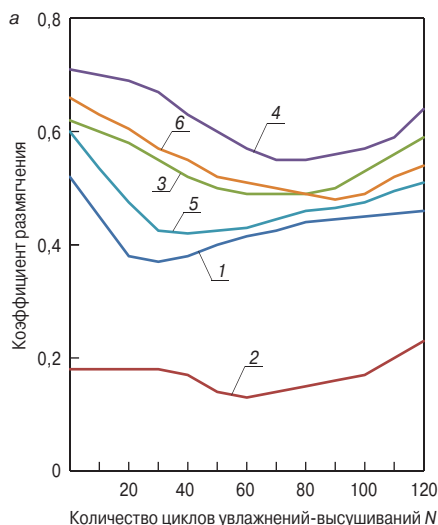
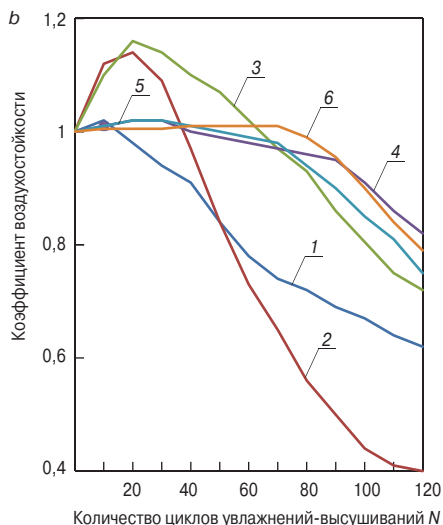


Рис. 4. Зависимость коэффициентов размягчения (а) и воздушостойкости (б) от числа циклов попеременного увлажнения и высушивания: 1–6 – номера составов

Fig. 4. Dependence of the softening (a) and atmospheric durability (b) coefficients on the number of cycles of alternate wetting and drying: 1–6 – composition numbers



Изменение свойств исследованных составов сопровождается линейными деформациями образцов-призм, которые представлены на рис. 3. Они связаны с описанными ранее физико-химическими процессами, происходящими в структуре материалов, а также с развитием дефектов и микротрещин усталостного характера. В результате проведенных исследований установлено, что образцы, изготовленные прессованием из модифицированных вяжущих (составы 3–6), характеризуются необратимыми линейными деформациями на порядок меньше, чем образцы из чистого прессованного гипсового вяжущего (состав 2), а также образцы из гипсового теста нормальной плотности. Это, по-видимому, связано с особенностями их структуры, вызванными примени-

ем добавок карбонатного тонкодисперсного наполнителя и однозамещенного фосфата аммония, появлением в структуре материала дополнительного фосфатно-карбонатного каркаса. Наиболее сильно линейные деформации составов с добавками шлама химводоочистки и моноаммонийфосфата проявляются в первые 20–30 циклов попеременных увлажнений-высушиваний, а затем скорость их нарастания понижается. Ранее отмечалось, что в этот период испытаний у образцов большинства составов отмечается рост механической прочности и уменьшение водопоглощения по массе. Это позволяет предположить, что увеличение линейных размеров образцов вызвано дополнительной гидратацией и перекристаллизацией гипса, происходящих в первые циклы

попеременных увлажнений-высушиваний и сопровождающихся некоторым объемным расширением. Подтверждением данного факта является и то, что наибольшие линейные деформации зафиксированы у образцов 3-го состава, которые, как уже отмечалось ранее, содержали до 5% негидратированного вяжущего. Как видно из рис. 3, необратимые линейные деформации прессованного гипсового вяжущего без добавок (состав 2) и литых образцов (состав 1) нарастают лавинообразно и сопровождаются снижением прочности, водостойкости и ростом водопоглощения, что указывает на крайне низкую стойкость указанных составов при попеременных увлажнении-высушиваниях.

Описанные изменения механической прочности материала в сухом и водонасыщенном состоянии с увеличением числа циклов попеременных увлажнений-высушиваний наиболее наглядно можно проследить на рис. 4, где показано изменение рассчитанных коэффициентов размягчения и воздухостойкости исследованных составов.

Как видно из рис. 4, *a*, коэффициент размягчения для всех составов при попеременном увлажнении-высушивании сначала понижается, а достигнув минимальной величины при различном количестве циклов испытаний, начинает увеличиваться. Так, наибольшей величиной коэффициента размягчения до начала испытаний обладает 4-й состав ($K_p=0,71$). Через 90 циклов попеременных увлажнений-высушиваний коэффициент размягчения этого состава понизился до 0,54, а после 120 циклов составил 0,63. Своего минимального значения коэффициенты размягчения 3, 5 и 6-го составов достигают соответственно через 65, 90 и 40 циклов испытаний (0,48; 0,48 и 0,43). Через 120 циклов увлажнений-высушиваний коэффициент размягчения указанных составов вновь повысился соответственно до 0,59; 0,51 и 0,5. Это связано с тем, что при циклических увлажнении-высушиваниях в первые сроки испытаний

прочность модифицированных гипсовых вяжущих в высушенном состоянии снижается в меньшей степени, чем в водонасыщенном. При увеличении количества испытаний в образцах накапливаются усталостные напряжения, не позволяющие им восстанавливать прочность при высыхании.

Выводы

Проведенные исследования показали, что прессованные композиты из модифицированного гипсового вяжущего обладают высокой стойкостью к попеременному увлажнению-высушиванию в сравнении с образцами из гипсового вяжущего без добавок и тем более с образцами, отформованными из гипсового теста нормальной густоты (рис. 4, *b*). Это объясняется тем, что, как установлено в предыдущих исследованиях [5, 6], прессованные композиты на основе модифицированного гипсового вяжущего обладают более прочной, монолитной мелкокристаллической структурой, дополнительно упрочненной фосфатно-карбонатным каркасом. Введение в состав формовочной массы карбонатного тонкодисперсного наполнителя совместно с моноаммонийфосфатом улучшает показатели пористости и структуру материала, способствует образованию на кристаллах дигидрата сульфата кальция экранирующих фазовых пленок из труднорастворимых фосфатов кальция, снижающих растворение кристаллизационных контактов [6, 14]. Предлагаемый способ модификации гипсового вяжущего препятствует расшатыванию структуры изготовленного из него прессованного камневидного материала при знакопеременных напряжениях, уменьшает линейные деформации и, как следствие, замедляет его усталостное разрушение. Использование вторичного ресурса в составе комплексного модификатора гипсового вяжущего позволяет снизить себестоимость прессованных изделий на его основе, а способ их производства отнести к наилучшим доступным технологиям.

Список литературы

1. Гецелев А.В. Изделия высокой механической прочности на базе штукатурного гипса // *Промышленность строительных материалов*. 1946. № 6. С. 46–50.
2. Крыжановский Б.Б., Левитина М.В., Смирнов Н.В. Освоение метода полусухого прессования гипсовых строительных деталей. *Сборник трудов РОСНИИМС*. 1954. № 6. С. 189–208.
3. Волженский А.В., Рожкова К.Н. Структура и прочность дигидрата, образующегося при гидратации полуводного гипса // *Строительные материалы*. 1972. № 5. С. 26–28.
4. Волженский А.В. Зависимость прочности вяжущих от их концентрации в твердеющей смеси с водой // *Строительные материалы*. 1974. № 6. С. 26–28.

References

1. Getselev A.V. Products of high mechanical strength based on plaster. *Promyshlennost' stroitel'nykh materialov*. 1946. No. 6, pp. 46–50. (In Russian).
2. Kryzhanovsky B.B., Levitina M.V., Smirnov N.V. Mastering the method of semi-dry pressing of gypsum building parts. *Collection of scientific works of ROSNIIMS*. Moscow: Promstroyizdat, 1954. No. 6, pp. 189–208.
3. Volzhensky A.V., Rozhkova K.N. The structure and strength of the dihydrate formed during the hydration of semiaqueous gypsum. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 1972. No. 5, pp. 26–28. (In Russian).
4. Volzhensky A.V. Dependence of the strength of binders on their concentration in a hardening mixture with water. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 1974. No. 6, pp. 26–28. (In Russian).

5. Юндин А.Н., Каклюгин А.В., Акопджанов Р.Г. Увеличение прочности и водостойкости прессованного строительного гипса. *Эффективные технологии и материалы для стеновых и ограждающих конструкций: Материалы международной научно-практической конференции (12–15 декабря 1994 г.)*. Ростов н/Д: Рост. гос. академия строительства, 1994. С 87–92.
6. Kaklyugin A., Stupen N., Kastornykh L., Kovalenko V. Pressed composites based on gypsum and magnesia binders modified with secondary resources. *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 1011, pp. 52–58. DOI: 10.4038/www.scientific.net/MSF.1011.52.
7. Каклюгин А.В., Трищенко И.В. Наилучшие доступные технологии в производстве строительных материалов и изделий. *Строительство и архитектура – 2017. Инженерно-строительный факультет: Материалы научно-практической конференции*. Ростов н/Д: ДГТУ, 2017. С. 185–191.
8. Трищенко И.В., Каклюгин А.В. Об оценке эффективности инвестиций в инновационные направления развития промышленности строительных материалов // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2018. Т. 8. № 2 (8). С. 73–83. DOI: 10.21285/2227-2917-2018-2-73-83.1.
9. Коровяков В.Ф. Гипсовые вяжущие и их применение в строительстве // *Российский химический журнал*. 2003. Т. XLVII. № 4. С. 18–25.
10. Волженский А.В., Стамбулко В.И., Ферронская А.В. Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, бетоны и изделия. М.: Стройиздат, 1971. 318 с.
11. Коровяков В.Ф. Перспективы производства и применения в строительстве водостойких гипсовых вяжущих и изделий // *Строительные материалы*. 2008. № 3. С. 65–67.
12. Будников П.П. Гипс, его исследование и применение. М.: Стройиздат, 1951. 418 с.
13. Ребиндер П.А. Физико-химические основы водопроницаемости строительных материалов. М.: Госстройиздат, 1953. 184 с.
14. Каклюгин А.В., Ступень Н.С., Касторных Л.И., Коваленко В.В. Зависимость водостойкости прессованных материалов на основе воздушных вяжущих веществ от величины открытой пористости // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2020. Т. 10. № 1. С. 68–75. DOI: 10.21285/2227-2917-2020-1-68-75.
15. Ферронская А.В. Долговечность гипсовых материалов, изделий и конструкций. М.: Стройиздат, 1984. 286 с.
16. Невский В.А. Усталость и деформативность бетона. М.: Вузовская книга, 2012. 264 с.
17. Патент РФ № 2078745. Сырьевая смесь для изготовления гипсовых изделий и способ ее приготовления / А.В. Каклюгин, А.Н. Юндин. Опубл. 10.05.1997.
5. Yundin A.N., Kaklyugin A.V., Akopdzhanov R.G. Increasing the strength and water resistance of pressed gypsum binder. *Effective technologies and materials for wall and enclosing structures: Materials of the international scientific and practical conference (December 12–15, 1994)*. Rostov-on-Don: RSACE, 1994, pp. 87–92. (In Russian).
6. Kaklyugin A., Stupen N., Kastornykh L., Kovalenko V. Pressed composites based on gypsum and magnesia binders modified with secondary resources. *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 1011, pp. 52–58. DOI: 10.4038/www.scientific.net/MSF.1011.52.
7. Kaklyugin A.V., Trishchenko I.V. The best available technologies in the production of building materials and products. *Construction and architecture – 2017. Engineering and construction faculty: Materials of the scientific and practical conference*. Rostov-on-Don: DSTU, 2017, pp. 185–191. (In Russian).
8. Trishchenko I.V., Kaklyugin A.V. Effectiveness of investments in the innovative directions of the construction materials industry. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2018. Vol. 8. No. 2, pp. 73–83. (In Russian). DOI: 10.21285/2227-2917-2018-2-73-83.1.
9. Korovyakov V.F. Gypsum binders and their use in construction. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*. 2003. Vol. XLVII. No. 4, pp. 18–25. (In Russian).
10. Volzhensky A.V., Stambulko V.I., Ferronskaya A.V. Gipsotsementnoputstsolanovyie vyazhushchiye, betony i izdeliya [Gypsum-cement-pozzolanic binders, concretes and products]. Moscow: Stroyizdat, 1971. 318 p.
11. Korovyakov V.F. Prospects for the production and use in construction of water-resistant gypsum binders and products. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 3, pp. 65–67. (In Russian).
12. Budnikov P.P. Gips, yego issledovaniye i primeneniye [Gypsum, its research and application]. Moscow: Stroyizdat, 1951. 418 p.
13. Rebinder P.A. Fiziko-khimicheskiye osnovy vodopronitsayemosti stroitel'nykh materialov [Physicochemical basis for the water permeability of building materials]. Moscow: Gosstroyizdat, 1953. 184 p.
14. Kaklyugin A.V., Stupen N.S., Kastornykh L.I., Kovalenko V.V. Dependence of water resistance of moulded materials containing air-setting binders on effective porosity. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2020. Vol. 10. No. 1, pp. 68–75. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2020-1-68-75>.
15. Ferronskaya A.V. Dolgovechnost' gipsovykh materialov, izdeliy i konstruktsiy [Durability of gypsum materials, products and structures]. Moscow: Stroyizdat, 1984. 286 p.
16. Nevsky V.A. Ustalost' i deformativnost' betona [Fatigue and deformability of concrete]. Moscow: Vuzovskaya kniga, 2012. 264 p.
17. Patent RF No. 2078745 Syr'yevaya smes' dlya izgotovleniya gipsovykh izdeliy i sposob yeye prigotovleniya. [Raw meal for manufacturing gypsum products and method of preparation thereof]. Kaklyugin A.V., Yundin A.N. 1997. (In Russian).

В.Н. НИКОЛАЕВ¹, директор (v.nikolaev@zaorpp.com); В.Ф. СТЕПАНОВА², д-р техн. наук;
А.В. МИХАЙЛОВА¹, маркетолог

¹ ЗАО «Республиканская палата предпринимателей» (428008, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. Комбинатская, 4)

² ОАО НИЦ «Строительство», Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6, к. 5)

Инновационные энергосберегающие сэндвич-панели для индустриального строительства

На сегодняшний день крупнопанельное домостроение занимает лидирующее место как по скорости возведения, так и по уровню продаж, что способствует увеличению объемов домостроения из сборного железобетона. Устаревшие серии крупнопанельных домов не отвечают современным требованиям. Старые безликие панельные дома постепенно сменяются красивыми жилищными комплексами с различными типами фасадов. В настоящее время в технологии возведения панельных домов из сэндвич-панелей актуальной тенденцией является уменьшение стандартной толщины фасадного слоя трехслойной сэндвич-панели (ГОСТ 31310–2015 «Панели стеновые трехслойные железобетонные с эффективным утеплителем. Общие технические условия») с 70 до 40 мм и менее. Панельные дома требуют снижения металлоемкости, материалоемкости и улучшения теплотехнических характеристик. В связи с этим необходима разработка и внедрение новых материалов. Применение таких строительных изделий из композитных материалов, как диагональные гибкие связи композитные, петли монтажные гибкие и композитная арматурная сетка, позволит уменьшить толщину защитного слоя бетона без ущерба стойкости конструкции под воздействием внешней среды за счет высокой коррозионной стойкости композита, снизить вес панели, снизить себестоимость изготовления единицы панели, повысить энергоэффективность панели, обеспечить долговременную прочность ограждающих конструкций – создать инновационную энергоэффективную армобетонную сэндвич-панель XXI в.

Ключевые слова: диагональные гибкие связи, монтажные петли, композитная сетка, фасадный слой, стеновые бетонные трехслойные панели, энергоэффективность, композитные материалы.

Для цитирования: Николаев В.Н., Степанова В.Ф., Михайлова А.В. Инновационные энергосберегающие сэндвич-панели для индустриального строительства // *Строительные материалы*. 2020. № 12. С. 47–51.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-47-51>

V.N. NIKOLAEV¹, Director (v.nikolaev@zaorpp.com); V.F. STEPANOVA², Doctor of Sciences (Engineering); A.V. MIKHAILOVA¹, Marketer

¹ CJSC “The Republican Chamber of Entrepreneurs” (4, Kombinatnaya Street, Cheboksary, Chuvash Republic, 428008, Russian Federation)

² JSC Research Center of Construction, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (6, bldg. 5, 2nd Institutnaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Innovative Energy-Saving Sandwich-Panels for Industrial Construction

Today, large-panel housing construction occupies a leading position, both in terms of construction speed and sales, which contributes to an increase in the volume of precast concrete housing construction. Outdated series of large-panel houses do not meet modern requirements. Old faceless panel houses are gradually replaced by beautiful housing complexes with different types of facades. At present, in the technology of construction of panel houses from sandwich-panels, the relevant trend is to reduce the standard thickness of the facade layer of a three-layer sandwich-panel (GOST 31310–2015 “Three-Layer Reinforced Concrete Wall Panels with Effective Insulation. General Technical Conditions”) from 70 mm to 40 mm or less. Panel houses require a reduction in metal consumption, material consumption and improvement of thermal characteristics. This requires the development and implementation of new materials. The use of such construction products made of composite materials as diagonal flexible composite connections, flexible mounting loops and composite reinforcement mesh will make it possible to reduce the thickness of the protective layer of concrete without compromising the stability of the structure under the influence of the external environment due to the high corrosion resistance of the composite, reduce the weight of the panel, reduce the cost of manufacturing a unit of panel, increase the energy efficiency of the panel, ensure long-term strength of enclosing structures – create an innovative energy-efficient reinforced concrete sandwich panel of the XXI century.

Keywords: diagonal flexible connections, mounting loops, composite mesh, facade layer, three-layer concrete wall panels, energy efficiency, composite materials.

For citation: Nikolaev V.N., Stepanova V.F., Mikhailova A.V. Innovative energy-saving sandwich-panels for industrial construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 12, pp. 47–51. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-47-51>

Интенсивное развитие производства композитных материалов способствует расширению их применения в строительной отрасли [1–6]. Таким направлением является применение композитных диагональных гибких связей, петель монтажных гибких и композитной сетки взамен металлических изделий [7–12]. Надежность и энергоэффективность панельных домов напрямую зависит от характеристик материалов, из которых изготовлены панели [13–16].

Диагональные гибкие связи из нержавеющей стали являются дорогостоящими из-за стоимости материала, обладают высокой механической прочностью [5]. Высокая теплопроводность данных изделий делает их мостиками холода в конструкции панели.

Более совершенной альтернативой нержавеющей стали являются композитные диагональные гибкие связи (рис. 1), которые представляют собой каркас из двух параллельных прямых стержней, скрепленных зигзагообразным стержнем

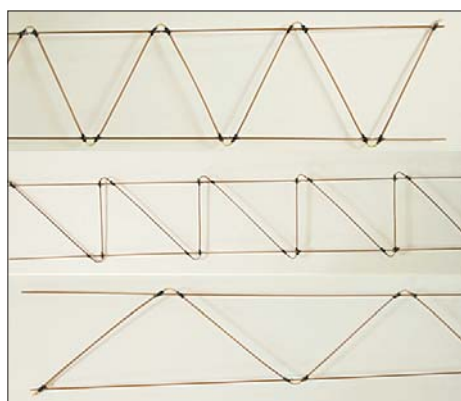


Рис. 1. Композитные диагональные гибкие связи
Fig. 1. Composite diagonal flexible connections

при помощи пластиковых соединительных элементов, что обеспечивает конструктивное взаимодействие между всеми слоями сэндвич-панели при различных нагрузках и смещениях.

Надежность и эффективность применения композитных диагональных гибких связей подтверждены в рамках проведенных испытаний. Были изготовлены образцы наружной стеновой панели ЗНСг09.23.32 с композитными диагональными гибкими связями, один из которых был испытан на сдвиг внешнего слоя



Рис. 2. Фрагмент трехслойной наружной стеновой панели с композитными диагоналями
Fig. 2. Fragment of a three-layer external wall panel with composite diagonals

относительно внутреннего слоя под вертикальной нагрузкой в «НИИМОССТРОЙ», другой – на определение предела огнестойкости в ИЦ «Огнестойкость» ЗАО «ЦСИ «Огнестойкость» (рис. 2). Результаты испытаний подтвердили надежность применения композитных диагональных гибких связей [8]. Высокое качество изделий подтвердил Минстрой России: выдано техническое свидетельство № 5592-18.

При проведении погрузочно-разгрузочных и монтажных операций используются монтажные петли из металла, изготавливаемые согласно ТР 94–2003 «Строповочные петли сборных бетонных и железобетонных конструкций, конструирование, расчет и испытания». В проектных решениях прописано, что петля после монтажа железобетонных сэндвич-панелей, изготавливаемых по ГОСТ 31310–2015 «Панели стеновые трехслойные железобетонные с эффективным утеплителем», должна быть срезана, однако данная операция в строительной практике не выполняется из-за сложности исполнения и пожароопасности (при использовании газорезки или болгарки раскаленные частицы металла могут стать причиной возгорания пенопласта). Кроме того, в настоящее время нет эффективного способа контроля данных работ по срезу металлической петли. Пряжки замноличиваются бетоном, металлическая петля остается в панели в качестве мостика холода, что приводит к снижению энергосберегающих свойств панелей приблизительно на 11%, а также всего строящегося здания в целом [8].

Петля монтажная гибкая (ПМГ) является более совершенной альтернативой стальным петлям [8]. ПМГ представляет собой изделие, которое изготавливается из ленты текстильной для строп, соединенной продольными швами и оснащенной четырьмя анкерами (рис. 3). Анкера представляют собой отрезки стеклопластиковой арматуры (Патент на полезную модель № 194846. Монтажная петля / Николаев В.Н. Приоритет 27.08.2018). Петли монтажные гибкие подтвердили свою надежность на практике:



Рис. 3. Петля монтажная гибкая (ПМГ)
Fig. 3. Flexible mounting loop (FML)



Рис. 4. ПМГ в рабочем выправленном виде
Fig. 4. FML in working straightened form

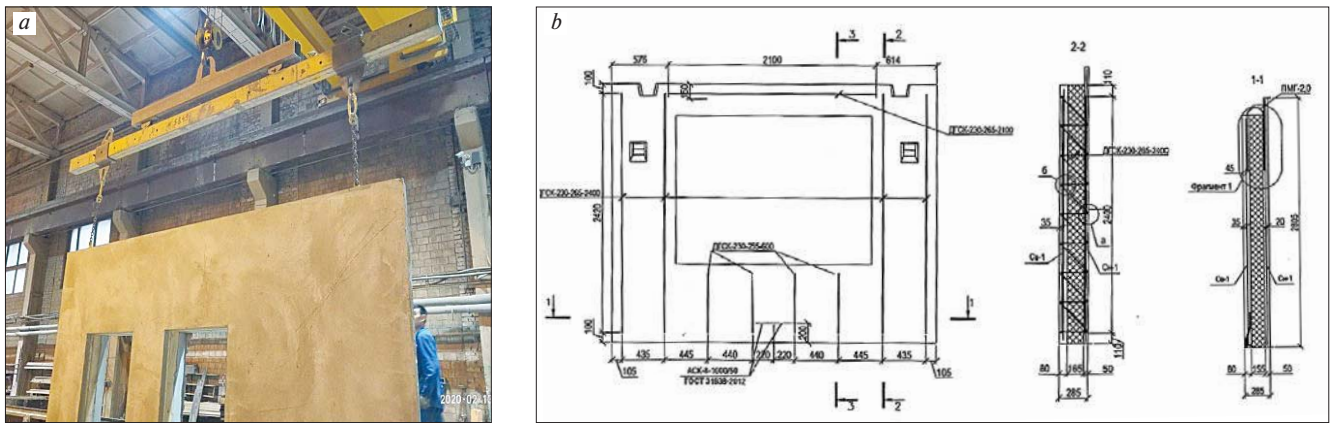


Рис. 5. Панель в поднятом положении (а); схема расположения распорок и фиксаторов (б)
 Fig. 5. The panel in the raised position (a); arrangement of spacers and clips (b)

сформованы сэндвич-панели в ООО «СИБ-центр» в Санкт-Петербурге (рис. 4, 5).

Необходимость применения монтажных гибких петель была вызвана требованием повышенных теплозащитных характеристик панелей и их температурной однородности [6]. Данные панели были изготовлены для строительства частных коттеджей, заказчики которых при приемке жилья контролируют наличие мостиков холода с помощью тепловизионной съемки, что и побудило застройщиков использовать петли монтажные гибкие и исключить появление мостиков холода. Кроме того, применение петель монтажных гибких позволяет уменьшить толщину фасадного слоя панели, что усложняется с использованием металлических петель.

Фасадный слой сэндвич-панели выполняет защитно-декоративную функцию и не является несущим элементом. По ГОСТ 31310–2015 «Панели стеновые трехслойные железобетонные с эффективным



Рис. 6. Композитная сетка для фасадного слоя
 Fig. 6. Composite mesh for the facade layer



Рис. 7. Композитная сетка для фасадного слоя под весом взрослого человека
 Fig. 7. Composite mesh for the facade layer under the weight of an adult

утеплителем. Общие технические условия» толщина фасадного слоя, армируемого металлической арматурной сеткой из стержней диаметром 5 мм, составляет 70–80 мм, что значительно увеличивает вес панели. Снижение толщины фасадного слоя требует строгого расположения металлической сетки в середине толщины слоя бетона, что достигается применением большого количества специальных фиксаторов. Монтаж фиксаторов при этом является отдельной технологической операцией, требующей большого объема ручного труда и тщательного контроля. Домостроительные комбинаты Белоруссии с целью повышения энергосбережения производят сэндвич-панели, толщина фасадного слоя которых составляет 50 мм, однако при этом возможно возникновение другой проблемы – образования следов коррозии на фасаде зданий.

С целью решения этих вопросов предлагается композитная сетка для тонкостенного фасадного слоя, в узлах пересечения которой расположены пластиковые соединительные элементы с верхней и нижней «ножкой» из термопластичного материала, например полиэтилена, полипропилена, в виде усеченных конусов длиной до 10–25 мм (рис. 6).

За счет «ножек» появляется возможность установить арматурную сетку в нужном сечении слоя бетона, а после затвердевания бетона она прочно закрепляется в его толще. «Ножки» представляют собой элемент конструкции арматурной сетки, что исключает технологическую операцию их монтажа, а также контроль установки. Это значительно сокращает объем ручного труда и повышает производительность изготовления сэндвич-панелей. Такая конструкция композитной сетки позволяет уменьшить толщину бетонного фасадного слоя панели с 70 до 40 мм, за счет чего увеличить слой теплоизоляции на 30 мм при сохранении общей толщины сэндвич-панели.

Список литературы

1. Бабков В.В., Колесник Г.С., Гайсин А.М. Несущие наружные трехслойные стены зданий с повышенной теплозащитой // *Строительные материалы*. 1998. № 6. С. 16–18.
2. Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Юрин Е.Ю. Исследование свойств тяжелого бетона на крупном заполнителе, армированного неметаллической базальтовой фиброй // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 46–53. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585430X-2018-763-9-46-53>
3. Патент РФ № 2142039. *Арматурный элемент для армирования теплоизоляционных стеновых конструкций и способ его изготовления* / Башара В.А., Вальд А.В., Иванов С.Н. Заявл. 28.09.1998. Оpubл. 27.11.1999.
4. Патент РФ № 149446. *Гибкая связь для трехслойных ограждающих конструкций* / Николаев В.Н., Николаев В.В. Заявл. 15.07.2014. Оpubл. 10.01.2015. Бюл. № 1.

нели. Конструкция композитной сетки прочная и выдерживает вес взрослого человека (рис. 7).

Таким образом, использование предложенного технического решения – композитных диагональных гибких связей, петель монтажных гибких, армирующей композитной сетки для тонкостенного фасадного слоя позволит создать высокорентабельную инновационную энергоэффективную железобетонную сэндвич-панель XXI в. с уменьшенным фасадным слоем.

Отметим, что ДГСК, ПМГ и композитная сетка для тонкостенного фасадного слоя являются новыми продуктами на строительном рынке. Применение данной продукции позволяет решить ряд проблем современного панельного домостроения:

- снизить себестоимость изготовления панели за счет: уменьшения объема бетона до 10%; более низкой цены ДГСК (диагональные гибкие связи композитные в два раза дешевле металлических); сокращения ручного труда при использовании армирующей композитной сетки;
- снизить себестоимость – при этом улучшить качество панелей за счет повышения энергоэффективности панели на 29% (18% – увеличение слоя теплоизоляции, 11% – применение композитных диагональных гибких связей и гибких монтажных петель);
- снизить вес панели за счет уменьшения толщины фасадного слоя;
- увеличить этажность зданий и сооружений за счет снижения нагрузки на фундамент;
- повысить производительность труда при изготовлении панелей за счет использования композитной сетки и ПМГ;
- повысить срок службы трехслойных панелей за счет увеличения температурной однородности панелей;
- сохранить внешний вид фасада зданий.

References

1. Babkov V.V., Kolesnik G.S., Gajsin A.M. Bearing external three-layer walls of buildings with high thermal protection. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 1998. No. 6, pp. 16–18. (In Russian).
2. Stepanova V.F., Buchkin A.V., Yurin E.Yu. Investigation of the properties of heavy concrete on a large aggregate reinforced with nonmetallic basalt fiber. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 46–53. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-46-53>
3. Patent RF 2142039. *Armaturnyy ehlement dlya armirovaniya teploizolyacionnykh stenovykh konstrukcij i sposob ego izgotovleniya* [Reinforcing element for the reinforcement of thermal insulating wall structures and method of its manufacture]. Bashara V.A., Val'd A.V., Ivanov S.N. Declared 28.09.1998. Published 27.11.1999. (In Russian).
4. Patent RF 149446. *Gibkaya svyaz' dlya trekhslajnykh ograzhdayushchih konstrukcij* [Flexible connection for

5. Заявка на изобретение GB № 2164367 (A). *A concrete building unit of a sandwich structure* / Paakkinen Ilmari, Partek A.B. Опубл.19.03.1986. Великобритания.
6. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 14–16.
7. Розенталь Н.К., Чехний Г.В., Бельник А.Р., Жилкин А.П. Коррозионная стойкость полимерных композитов в щелочной среде бетона // *Бетон и железобетон*. 2002. № 3. С. 20–23.
8. Николаев В.Н., Степанова В.Ф. Новый уровень панельного домостроения: композитные диагональные гибкие связи и петли монтажные для трехслойных бетонных панелей // *Жилищное строительство*. 2019. № 10. С. 33–37. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-10-14-20>
9. Савин В.Ф., Блазнов А.Н., Башара В.А., Луговой А.Н. Экспресс-метод оценки стойкости полимерных композиционных материалов к воздействию щелочной среды. *Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья: Доклад VI Всероссийской научно-практической конференции*. М.: ФГУП «ЦНИИХМ», 2006. С. 203–207.
10. Николаев С.В. Модернизация крупнопанельного домостроения – локомотив строительства жилья экономического класса // *Жилищное строительство*. 2011. № 3. С. 3–7.
11. Степанова В.Ф. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии – основа обеспечения долговечности зданий и сооружений // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 1. С. 13–16.
12. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю., Жирков Е.П. Арматура композитная полимерная. М.: АСВ, 2013. 200 с.
13. Горб А.М., Войлоков И.А. Фибробетон – история вопроса, нормативная база, проблемы и решения // *Международное аналитическое обозрение*. 2009. № 2.
14. Степанова В.Ф., Фаликман В.Р., Бучкин А.В. Задачи и перспективы применения композитов в строительстве. *Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве: Сборник мат. III науч.-техн. конф.* Ижевск, 2017. С. 55–72.
15. Николаев С.В. Устройство балконов с помощью многопустотных плит перекрытий // *Жилищное строительство*. 2018. № 10. С. 17–21.
16. Николаев С.В. Обновление жилищного фонда страны на базе крупнопанельного домостроения // *Жилищное строительство*. 2018. № 3. С. 3–7.
- three-layer walling]. Nikolaev V.N., Nikolaev V.V. Declared 15.07.2014. Published 10.01.2015. Bulletin No. 1. (In Russian).
5. Zayavka na izobretenie GB № 2164367 (A). *A concrete building unit of a sandwich structure*. Paakkinen Ilmari, Partek A. B. Published 19.03.1986. (In UK).
6. Gagarin V.G., Dmitriev K.A. Accounting for thermal engineering heterogeneity in the assessment of thermal protection of enclosing structures in Russia and European countries. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 14–16. (In Russian).
7. Rozental' N.K., Chekhniy G.V., Bel'nik A.R., Zhilkin A.P. Corrosion resistance of polymer composites in the alkaline environment of concrete. *Beton i zhelezobeton*. 2002. No. 3, pp. 20–23. (In Russian).
8. Nikolaev V.N., Stepanova V.F., Demina T.G. Composite diagonal flexible connections for three-layer concrete panels – panel housing construction of a new level. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 10, pp. 33–37. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-10-14-20>
9. Savin V.F., Blaznov A.N., Bashara V.A., Lugovoy A.N. Express method for assessing the resistance of polymer composite materials to the effects of an alkaline environment. *Technique and technology for the production of thermal insulation materials from mineral raw materials. Papers of VI Scientific and Technical Conference*. Moscow: FGUP «CNIИХМ». 2006, pp. 203–207. (In Russian).
10. Nikolaev S.V. Modernization of large-panel housing construction – the locomotive of low-cost housing construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2011. No. 3, pp. 3–7. (In Russian).
11. Stepanova, V.F. Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion – the basis of ensuring the durability of buildings and structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 1, pp. 13–16. (In Russian).
12. Stepanova V.F., Stepanov A.Yu., Zhirkov E.P. Armatura kompozitnaya polimernaya [Reinforcement composite polymer]. Moscow: ASV. 2013. 200 p.
13. Gorb A.M., Vojlovoy I.A. The fiber-reinforced concrete – background, regulatory framework, problems and solutions. *Mezhdunarodnoe analiticheskoe obozrenie*. 2009. No. 2, pp. 1–4. <http://www.monolitpol.ru/files/monolitpol026.pdf> (Date of access 14.04.2018). (In Russian).
14. Stepanova V.F., Falikman V.R., Buchkin A.V. Tasks and prospects of application of composites in construction. *Actual questions of theory and practice of application of composite reinforcement in construction: Collected materials of the Third Scientific and Technical Conference*. Izhevsk. 2017, pp. 55–72. (In Russian).
15. Nikolaev S.V. Arrangement of balconies with the help of hollow core floor slabs. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 10, pp. 17–21. (In Russian).
16. Nikolaev S.V. Renovation of housing stock of the country on the basis of large-panel housing construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 3, pp. 3–7. (In Russian).

С.А. МАЛБИЕВ¹, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник (nata.khomch@yandex.ru);

С.В. ФЕДОСОВ², д-р техн. наук, академик РААСН (fedosov-academic53@mail.ru)

¹ ООО НПП «Инженер-Строй» (153003, г. Иваново, ул. Красных Зорь, 15а, оф. 103)

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Температурные воздействия на полимерные конструкции навесов для инверсионных кровель многоэтажных жилых зданий

Рассматривается влияние температурных воздействий на техническое состояние перекрестно-стержневых пространственных конструкций навесов для инверсионных кровель многоэтажных жилых зданий из полимерных материалов на примере трубчатых элементов из поливинилхлорида (ПВХ). Для современных многоэтажных жилых домов в действующей нормативно-технической документации предусмотрены эксплуатируемые (инверсионные) кровли, на которых могут быть размещены детские спортивные площадки, кафе, бары, рестораны, автостоянки, солярии, а также сады и архитектурно-ландшафтные объекты, площадки для вертолетов и т. п. Для защиты посетителей от атмосферных воздействий рекомендуются навесы из пространственных стержневых строительных конструкций (ПСПК), которые эксплуатируются на открытом воздухе с учетом различных климатических воздействий: повышенной и пониженной температуры, соответствующей влажности, атмосферных осадков и др. Наибольший интерес для учета температурного воздействия на техническое состояние разработанной конструкции представляют элементы стержневой системы. Рассмотрено в нелинейной постановке и общее решение задачи нестационарного теплопереноса конструкции для расчета двумерного поля температуры. Задача теплопроводности рассмотрена в предположении, что имеется техническая возможность для подачи теплоносителя внутрь цилиндра. Вследствие этого появляется тепловой поток, с помощью которого возможна регулировка температуры между наружной и внутренней областями цилиндрических элементов для более эффективной установки напряженно-деформированного состояния всей несущей конструкции в целом.

Ключевые слова: конструкция, стержень, поливинилхлорид, инверсионная кровля, тепловой поток.

Для цитирования: Малбиев С.А., Федосов С.В. Температурные воздействия на полимерные конструкции навесов для инверсионных кровель многоэтажных жилых зданий // *Строительные материалы*. 2020. № 12. С. 52–57.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-52-57>

S.A. MALBIEV¹, Candidate of Sciences (Engineering), Leading researcher;

S.V. FEDOSOV², Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAASN (fedosov-academic53@mail.ru)

¹ "Engineer-Story" NPP LLC (office 103, 15a, Krasnykh Zor' Street, Ivanovo, 153003, Russian Federation)

² National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Temperature Effects on Polymer Structures of Canopies for Inversion Roofs of Multi-Storey Residential Buildings

The influence of temperature effects on the technical condition of cross-rod spatial structures of canopies for inversion roofs of multi-storey residential buildings made of polymer materials is considered on the example of tubular elements made of polyvinyl chloride (PVC). For modern multi-storey residential buildings, the current regulatory and technical documentation provides for operational (inversion) roofs, which can accommodate children's sports grounds, cafes, bars, restaurants, parking lots, tanning salons, as well as gardens and architectural and landscape objects, helicopter platforms, etc. To protect visitors against atmospheric influences, canopies made of spatial core building structures (SCBS), which are operated in the open air, taking into account various climatic influences: high and low temperatures, corresponding humidity, precipitation, etc., are recommended. The elements of the core system are of the greatest interest for taking into account the temperature impact on the technical condition of the developed structure. The general solution of the problem of non-stationary heat transfer of a structure for calculating a two-dimensional temperature field is considered in a nonlinear formulation. The problem of thermal conductivity is considered under the assumption that there is a technical possibility for supplying a coolant inside the cylinder. As a result, there is a heat flow, with which it is possible to adjust the temperature between the outer and inner areas of the cylindrical elements for more efficient installation of the stress-strain state of the entire supporting structure as a whole.

Keywords: structure, rod, polyvinyl chloride, inversion roof, heat flow.

For citation: Malbiev S.A., Fedosov S.V. Temperature effects on polymer structures of canopies for inversion roofs of multi-storey residential buildings. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 12, pp. 52–57. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-52-57>

В современных многоэтажных жилых домах предусмотрены эксплуатируемые (инверсионные) кровли, на которых могут быть размещены детские спортивные площадки, кафе, бары, рестораны, автостоянки, солярии, а также сады и архитектурно-ландшафтные объекты, площадки для вертолетов (СП 17.13330.2017 «Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26–76», пп. 5.3.3, 5.3.4) и т. п. Для

защиты посетителей от атмосферных воздействий могут быть использованы навесы из перекрестно-стержневых пространственных конструкций (ПСПК), которые эксплуатируются на открытом воздухе с учетом различных климатических воздействий: повышенных и пониженных температур, соответствующей влажности, атмосферных осадков и др. Указанные ПСПК целесообразно разрабатывать из полимерных



Схема покрытия навеса из решетчатой конструкции ПСПК
The scheme of covering the canopy from the lattice structure PSPK

материалов, отличающихся высокими эксплуатационными свойствами. Общий вид такого покрытия показан на рисунке [1].

Стержневые системы регулярной структуры имеют конструктивные преимущества перед другими пространственными конструкциями. Составляющие ПСПК стержни, создавая пространственную работу, испытывают в основном одноосные усилия сжатия или растяжения. При этом повышенная жесткость конструкции обеспечивается не за счет постановки связей, а преимущественно самой решеткой. Сравнительно малый шаг стержней решетки позволяет применить облегченный настил, а в ряде случаев и включить ограждающую конструкцию в работу верхнего пояса стержневой плиты.

Высокая прочность полимерных материалов при относительно низком объемном весе, стойкость к атмосферным воздействиям и химически агрессивным средам выгодно отличают их от традиционных строительных материалов. Однако значительным препятствием широкому применению пластмасс в несущих строительных конструкциях является их относительно высокая деформативность даже при нормальных температурно-влажностных условиях. Полимерные материалы, имеющие прочность низколегированных сталей и примерно в пять раз меньший, чем сталь, объемный вес, в то же время уступают стали по величине модуля упругости примерно в 10 раз, т. е. в 10 раз слабее сопротивляются деформи-

рованию. Кроме того, вследствие ползучести деформации увеличиваются во времени и могут перейти в остаточные даже при сравнительно низких уровнях напряжений.

Пространственные стержневые системы обеспечивают эффективное восприятие внешних воздействий окружающей среды единым комплексом всех элементов конструкций (от покрытия до фундамента), что в конечном итоге обуславливает расход материалов на 20–50% меньше обычного. При механизированном заводском изготовлении элементов снижение трудоемкости изготовления и монтажа пространственных конструкций в конечном счете обеспечивает экономию средств на современном уровне развития строительной техники до 15%.

В данной работе рассматриваются конструктивные трубчатые элементы из непластифицированного поливинилхлорида (ПВХ), одного из дешевых термoplastических материалов, отличающегося высокой стойкостью к различным химически агрессивным средам, а также к влажностным воздействиям окружающей среды. Наиболее актуальными для конструкций ПВХ-навесов для инверсионных кровель являются температурные воздействия.

Действующая в настоящее время нормативно-техническая документация (ГОСТ 27751–2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения») определяет долговечность как способность строительного объекта сохранять прочностные, физические и другие свойства, устанавливаемые при проектировании и обеспечивающие его нормальную эксплуатацию в течение расчетного срока службы (п. 2.1.3). За расчетный срок службы принимается установленный в строительных нормах или в задании на проектирование период использования строительного объекта по назначению до капитального ремонта и (или) реконструкции с предусмотренным техническим обслуживанием. Расчетный срок службы отсчитывается от начала эксплуатации объекта или возобновления его эксплуатации после капитального ремонта или реконструкции (п. 2.1.12). Там же в табл. 1 ГОСТ 27751–2014 рекомендован срок службы зданий жилищно-гражданского и производственного строительства не менее 50 лет, например 60 лет и более, а уникальных зданий и сооружений – 100 лет и более.

К воздействиям относятся: изменение температуры, влияние на строительный объект окружающей среды, действие ветра, осадка оснований, смещение опор, деградация свойств материалов во времени и другие эффекты, вызывающие изменение напряженно-деформированного состояния строительных конструкций (п. 2.2.1).

Таким образом, одним из главных факторов различных воздействий установлено время, которое непосредственно влияет на долговечность строительных объектов.

Фактор времени учитывается, например, для снеговых нагрузок на покрытие здания, в котором пред-

усмотрена как кратковременная, так и длительная часть снеговой нагрузки, составляющая 50% от ее нормативного значения для районов со средней температурой января -5°C и ниже. Пониженные нагрузки относятся к длительным (п. 5.4 в СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия (с картами). Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*»).

Инженерный опыт обследования бетонных и железобетонных конструктивных материалов подтверждает (ГОСТ 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния») [2–5], что при фактических температурных воздействиях на здания на протяжении всего лишь нескольких лет техническое состояние соответствующих строительных материалов характеризуется значительным количеством дефектов и повреждений с учетом условий эксплуатации [4].

Часто причинами снижения долговечности зданий и сооружений, в том числе коррозионных износов, является химически агрессивная среда, несвоевременное обследование технического состояния, некачественно выполненный ремонт, нарушение технологических процессов эксплуатации и др. [2, 4, 5]. Однако температурно-влажностные воздействия могут выступать в роли катализаторов, например, коррозионных процессов, когда уменьшается поперечное сечение элементов конструкции, снижается несущая способность и долговечность.

В действующей нормативно-технической документации отсутствует нижний предел температурного диапазона эксплуатации для некоторых конструкций, например деревянных, асбестоцементных и алюминиевых, а также фактор времени (СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II–25–80»; СП 97.13330.2016 «Асбестоцементные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 2.03.09–85»; СП 128.13330.2016 «Алюминиевые конструкции. Актуализированная редакция СНиП 2.03.06–85»).

Авторы работы [4] считают, что температурные деформации стен зданий линейно зависят от температуры. Очевидно, что это утверждение справедливо при равномерном повышении или понижении температуры. Однако температура технологических процессов внутри производственных помещений отличается своей неравномерностью, например при въезде-выезде железнодорожного, электро- и пневмоколесного транспорта через цеховые ворота. Кроме того, при одно- или двухсменном режиме работы предприятий колебания температуры приводят к нестационарному теплопереносу.

В монографии [6] приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований авторов в области несущей способности и долговечности элементов конструкций. Предложены методы оценки долговечности при различных видах случайного нагружения. На основе термодинамического подхода изложены вопросы теории ускоренных и эквивалентных испытаний и сформулирован критерий эк-

вивалентности (метод температурно-временной аналогии, когда за счет повышенной температуры ускоряется процесс испытания конструкций во времени).

Под долговечностью, например, клеевых соединений деревянных конструкций [7] понимается способность сохранять адгезионно-когезионную связь в течение длительного времени до достижения какого-либо предельного состояния (минимально допустимой прочности) или до разрушения. При этом клеевое соединение может оставаться без механического нагружения под воздействием только температуры и влажности, а прогноз долговечности может устанавливаться путем механического нагружения после температурно-влажностной обработки образцов. Таким образом, автор работы [7] считает критерием долговечности изменение кратковременной прочности в процессе ускоренных термоактивационных испытаний.

В приведенных исследованиях учитывается постоянная повышенная температура, которая выполняет роль ускорителя старения и соответственно снижения долговечности.

Однако на большинстве производственных предприятий фактор времени при нестационарных температурно-влажностных воздействиях на различные строительные материалы конструктивных элементов не учитывается.

Существующая в настоящее время теория теплопереноса позволяет учитывать температурно-влажностные воздействия во времени [8].

Из теорий теплопроводности и теплопереноса [8, 9] известно, что, например, для строительных конструкций пластинчатого типа (плиты и панели междуэтажных перекрытий и покрытий зданий и сооружений) [10, 11] процесс нагревания от технологического температурного воздействия при равномерном начальном распределении температуры описывается нестационарным дифференциальным уравнением параболического типа с соответствующими граничными условиями:

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(a \frac{\partial t}{\partial x} \right); \quad \tau > 0; \quad 0 \leq x \leq R; \quad (1)$$

$$t(x, 0) = t_0(x); \quad (2)$$

$$\frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = 0; \quad (3)$$

$$\alpha [t_c - t(R, \tau)] = \lambda \frac{\partial t(R, \tau)}{\partial x}, \quad (4)$$

где t – температура, К; τ – время, с; a , λ – коэффициенты температуропроводности и теплопроводности материала пластины, $\text{м}^2/\text{с}$, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; α – коэффициент теплоотдачи (теплообмена между поверхностью и средой), $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; x – текущая координата по толщине пластины, м; R – половина толщины пластины, м, начало координат (ноль) находится в центре пластины; t_c – температура окружающей среды, К.

Как правило, температурное поле является неоднородным, поскольку в каждой его точке состояние

среды различно. В неоднородных полях происходит процесс теплопереноса с соответствующим потоком теплоты от источника, характеризующийся векторной величиной – градиентом. Температурный градиент – это вектор с положительным знаком при возрастании температуры и с отрицательным – при снижении. В декартовой системе координат:

$$\text{grad } t = \nabla t = \frac{\partial t}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial t}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial t}{\partial z} \vec{k}, \quad (5)$$

где x, y, z – оси декартовых координат; $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – орты (орт – единичный вектор).

Перенос теплоты происходит благодаря разности температуры двух точек окружающей среды (разности потенциалов переноса). Поток теплоты движется в направлении, противоположном градиенту потенциала переноса, а количество переносимой теплоты пропорционально этому градиенту, поэтому справедливо выражение:

$$\vec{j}_T = -\lambda \text{grad } t = -\lambda \nabla t, \quad (6)$$

где \vec{j}_T – вектор плотности потока теплоты, Вт/м²; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К). Знак «–» в выражении (6) показывает, что направление теплового потока противоположно направлению градиента температуры.

Вывод дифференциальных уравнений теплопроводности основан на применении закона сохранения энергии к бесконечно малому элементу среды с учетом потоков тепла через поверхность этого элемента, а также выделения или поглощения тепловой энергии в объеме этого элемента.

Если считать, что свойства среды практически не изменяются и $c(t), \lambda, \rho(t)$ – константы, то справедливо выражение [8]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{q_{VT}}{c(t)\rho(t)}, \quad (7)$$

где $a = \frac{\lambda}{c(t)\rho(t)}$ – коэффициент температуропроводности, м²/с; q_{VT} – мощность объемного источника теплоты, Дж/(с·м³); $c(t)$ – теплоемкость материала, кДж/(кг·К); $\rho(t)$ – плотность, кг/м³.

Если источника тепла в среде нет, то в выражении (7) $q_{VT} = 0$. В этом случае получаем дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности в виде:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t. \quad (8)$$

Выражения (7) и (8) являются дифференциальным уравнением теплопроводности Фурье, которое устанавливает взаимосвязь между временными и пространственными изменениями температуры в любой точке неподвижной среды [8].

Дифференциальные уравнения теплопереноса не позволяют получить конкретных расчетных выражений, пока они не дополнены начальными и граничными условиями.

Начальные условия характеризуют значения полей температуры в момент времени, принимаемый за начало отсчета.

Для нестационарного температурного поля начальные условия имеют следующий вид [8]:

$$t(x, y, z, \tau)|_{\tau=0} = t_0(x, y, z), \quad (9)$$

где: $t_0(x, y, z)$ – заданная функция координат.

Граничные условия характеризуют значения потенциалов переноса температуры на границах рассматриваемой области в любой момент времени. Кроме того, граничные условия отражают условия взаимодействия на границах рассматриваемой среды с другими средами.

Поле температуры – это понятие, определяющее совокупность значений температуры для всех точек пространства в данный момент времени.

Если поле Φ с течением времени τ не изменяется, т. е. характеристика Φ зависит только от координат x, y, z , то такое поле $\Phi(x, y, z)$ называется *стационарным*, в противном случае – *нестационарным*.

Перенос теплоты происходит вследствие разности потенциалов переноса (разности температуры).

Если на поверхности S задано поле температуры, то получаем *граничное условие первого рода* (условие Дирихле):

$$t(x, y, z, \tau)|_S = t_0(s, \tau). \quad (10)$$

Граничное условие первого рода является заданием потенциала переноса на границе рассматриваемой области в любой момент времени.

Если на границе S области V задан поток теплоты, то имеет место *граничное условие второго рода* (условие Неймана):

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n}|_S = \vec{j}_T(\tau), \quad (11)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К.

Если на границе рассматриваемой и окружающей среды происходит конвективный перенос теплоты, то в этом случае учитываются *граничные условия третьего рода* – условия Ньютона:

$$-\lambda \text{grad } t|_S = \alpha(t_s - t_{cp}), \quad (12)$$

где t_s – температура на поверхности S , t_{cp} – средняя температура окружающей среды, α – коэффициент теплоотдачи от окружающей среды к рассматриваемой поверхности (или в обратном направлении), Дж/(с·м²·К).

Коэффициент теплоотдачи α показывает, какое количество теплоты отдается от окружающей среды к поверхности нагреваемого тела (или в обратном направлении) через 1 м² этой поверхности при разности температуры между средой и поверхностью, равной 1 К. Он зависит от скорости течения жидкости, ее плотности и вязкости; тепловых свойств (c_p, λ); геометрических параметров – формы и размеров поверхности, шероховатости поверхности.

Дифференциальные уравнения тепло- и массопереноса совместно с начальными и граничными условиями дают полную математическую формулировку конкретной задачи, решение которой может быть выполнено аналитическим, численным или экспериментальным методом.

В монографии [8] приводятся решения соответствующего дифференциального уравнения с краевыми условиями (1–4) для равномерного и неравномерного начального распределения температуры в телах канонической формы (шара, цилиндра – сооружения типа газгольдеров, силосов и других емкостей).

В [8] также рассмотрены многослойные ограждающие конструкции типа стеновых панелей в различных вариантах температурно-влажностных воздействий. В нормативно-технической документации влажностные воздействия регламентируются только для деревянных конструкций, для остальных они не учитываются.

Однако для многослойных ограждающих конструкций все тепломассообменные характеристики изменяются с течением времени, поскольку зависят от температуры и влагосодержания каждого элемента [8]. В пределах малого временного интервала система уравнений взаимосвязанного тепломассопереноса пара и жидкости в твердом теле описывается системой уравнений в частных производных [12, 13]:

$$\begin{cases} \frac{\partial t}{\partial \tau} = a_q \nabla^2 t + \frac{\varepsilon r}{c_q} \cdot c_m \frac{\partial \Theta}{\partial \tau}, \\ \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = a_m \nabla^2 \Theta + a_m \delta_{\Theta} \nabla^2 t. \end{cases} \quad (13)$$

Здесь a_q – коэффициент температуропроводности; a_m – коэффициент потенциалопроводности; $\nabla \Theta$ и ∇t – термодинамические силы градиентов потенциалов массо- и теплопереноса; δ_{Θ} – термоградиентный коэффициент, отнесенный к разности по-

Список литературы

1. Малбиев С.А. Конструкции из дерева и пластмасс. Перекрестно-стержневые пространственные конструкции покрытий зданий. М.: АСВ, 2017. 336 с.
2. Гроздов В.Т. Дефекты строительных конструкций и их последствия. СПб.: Центр качества строительства, 2007. 136 с.
3. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона / Пер. с нем. А. Тулаганова; Под ред. П. Кривенко. Веймар, 1995; Киев: ОРАНТА, 2004. 294 с.
4. Казачек В.Г., Нечаев Н.В., Нотенко С.Н. и др. Обследование и испытание зданий и сооружений / Под ред. В.И. Римшина. 3-е изд. М.: Высшая школа, 2007. 655 с.
5. Добромислов А.Н. Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений: Справочное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: АСВ, 2008. 304 с.

тенциалов массопереноса; c_q – теплоемкость материала теплопереноса, Дж/(кг·К); c_m – теплоемкость материала массопереноса, Дж/(кг·К); ε – критерий фазового превращения ($0 \leq \varepsilon \leq 1$); r – скрытая теплота парообразования, Дж/(кг·К).

Система дифференциальных уравнений (13) имеет бесчисленное множество решений. Для того чтобы получить единственное решение, адекватно описывающее анализируемый процесс, необходимо дополнить эту систему краевыми условиями, отражающими закономерности взаимодействия тела с окружающей средой на поверхности раздела фаз.

Кроме того, необходимо знать состояние системы в начальный момент времени, т. е. распределение потенциалов переноса теплоты и массы в объеме тела в момент времени $\tau=0$. Условия взаимодействия поверхности тела с окружающей средой называются граничными, временные условия – начальными. Совокупность начальных и граничных условий называется краевыми условиями. В свою очередь, краевые условия вместе с дифференциальными уравнениями представляют краевую задачу.

В дальнейшем авторы планируют рассмотреть задачи тепломассопереноса для некоторых типов строительных конструкций, например перекрестно-стержневых пространственных систем из полимерных трубчатых элементов.

References

1. Malbiyev S.A. Konstruktsii iz dereva i plastmass. Perekrestno-sterzhnevyye prostranstvennyye konstruktsii pokrytiy zdaniy [Wood and plastic constructions. Cross-bar spatial structures of buildings' roofs]. Moscow: ASV. 2017. 336 p.
2. Grozdov V.T. Defekty stroitel'nykh konstruktsiy i ikh posledstviya [Defects in building structures and their consequences]. Saint Petersburg: Center for Construction Quality. 2007. 136 p.
3. Shtark I., Vikht B. Dolgovechnost' betona / Per. s nem. A. Tulaganov. Pod red. P. Krivenko [Durability of concrete. Translated from German A. Tulaganov. Edited by P. Krivenko]. Weimar, 1995; Kiev: ORANTA, 2004. 294 p.
4. Kazachek V.G., Nechayev N.V., Notenko S.N. i dr. Obsledovaniye i ispytaniye zdaniy i sooruzheniy / Pod red. V.I. Rimshina. 3-ye izd. [Inspection and testing of buildings and structures / Edited by V.I. Rimshin. 3rd ed.]. Moscow: Vysshaya shkola. 2007. 655 p.
5. Dobromyslov A.N. Diagnostika povrezhdeniy zdaniy i inzhenernykh sooruzheniy: Spravochnoye posobiye. 2-ye izd., pererab. i dop. [Diagnostics of damage to buildings and engineering structures: A reference guide. 2nd ed., Revised and enlarged]. Moscow: ASV. 2008. 304 p.
6. Gudramovich V.S., Pereverzev Ye.S. Nesushchaya sposobnost' i dolgovechnost' elementov konstruktsiy [Bearing capacity and durability of structural elements]. Kiev: Naukova dumka. 1981. 284 p.

6. Гудрамович В.С., Переверзев Е.С. Несущая способность и долговечность элементов конструкций. Киев: Наукова думка, 1981. 284 с.
7. Хрулев В.М. Прогнозирование долговечности клеевых соединений деревянных конструкций. М.: Стройиздат, 1981. 128 с.
8. Федосов С.В. Теплоперенос в технологических процессах строительной индустрии: монография. Иваново: ИПК «ПресСто», 2010. 364 с.
9. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики. Минск: Изд. АН БССР, 1961. 520 с.
10. Федосов С.В., Малбиев С.А. Структурные конструкции из полимерных материалов для покрытий зданий и сооружений с химически агрессивной средой. Ч. 1. Прочность и деформативность в стационарном тепловом поле // *Вестник гражданских инженеров*. 2018. № 3. С. 54–61.
11. Федосов С.В., Малбиев С.А. Структурные конструкции из полимерных материалов для покрытий зданий и сооружений с химически агрессивной средой. Ч. 2. Нестационарный теплоперенос // *Вестник гражданских инженеров*. 2018. № 6. С. 25–29.
12. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 600 с.
13. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. 535 с.
7. Khrulev V.M. Prognozirovaniye dolgovechnosti kleyevykh soyedineniy derevyannykh konstruktсий [Forecasting the durability of glued joints in wooden structures]. Moscow: Stroyizdat. 1981. 128 p.
8. Fedosov S.V. Teplomassoperenos v tekhnologicheskikh protsessakh stroitel'noy industrii: monografiya [Heat and mass transfer in the technological processes of the construction industry: monograph]. Ivanovo: IPK "PressSto". 2010. 364 p.
9. Lykov A.V. Theoretical foundations of building thermal physics [Teoreticheskiye osnovy stroitel'noy teplofiziki]. Minsk: Ed. AN BSSR. 1961. 520 p.
10. Fedosov S.V., Malbiev S.A. Structural structures made of polymeric materials for coating buildings and structures with a chemically aggressive environment. Part 1. Strength and deformability in a stationary thermal field. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2018. No. 3, pp. 54–61. (In Russian).
11. Fedosov S.V., Malbiev S.A. Structural structures made of polymeric materials for coating buildings and structures with a chemically aggressive environment. Part 2. Non-stationary heat transfer. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2018. No. 6, pp. 25–29. (In Russian).
12. Lykov A.V. Theory of heat conduction [Teoriya teploprovodnosti]. Moscow: Vysshaya shkola. 1967. 600 p.
13. Lykov A.V., Mikhailov Yu.A. Theory of heat and mass transfer [Teoriya teplo- i massoperenosa]. Moscow, Leningrad: Gosenergoizdat. 1963. 535 p.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

В издательстве «Стройматериалы» вы можете приобрести книги:

Монография «Защита деревянных конструкций»

Автор – Ломакин А.Д.

Рассмотрены вопросы конструкционной и химической защиты деревянных конструкций, используемых в малоэтажном домостроении, при строительстве зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения, в том числе, с химически агрессивной средой, а также открытых сооружений (автодорожных и пешеходных мостов, опор ЛЭП и др.). Освещены вопросы защиты от эксплуатационных воздействий и возгорания несущих конструкций из клееной древесины и ЛВЛ и приведено краткое описание наиболее эффективных средств и способов их защиты. Описаны методы оценки защитных свойств покрытий для древесины, методика и результаты натурных климатических испытаний покрытий на образцах и фрагментах конструкций. Приведены методика и результаты мониторинга влажностного состояния несущих клееных деревянных конструкций в процессе эксплуатации.



Монография «Производство деревянных клееных конструкций»

Автор – заслуженный деятель науки России, д-р техн. наук Ковальчук Л.М.

В книге рассмотрены основные вопросы технологии изготовления ДКК, показаны области их применения, описаны материалы для их изготовления. Особое внимание уделено вопросам оценки качества, методам испытаний, приемке и сертификации клееных конструкций. В книге приведен полный перечень отечественных и зарубежных нормативных документов, регламентирующих производство и применение ДКК.



Заявки направляйте в редакцию по e-mail: mail@rifsm.ru,

по тел.: (499) 976-22-08, 976-20-36.

Оформляйте заказ на сайте www.rifsm.ru

Р.С. ОЛЬФАТИ, канд. техн. наук (dr.ulfati@mail.ru)

Российский университет дружбы народов, департамент строительства, инженерная академия (117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6)

Проектирование стальных конструкций в сейсмических условиях

Рассмотрены принципы проектирования сейсмостойких стальных каркасов промышленных зданий. Особое внимание уделяется причинам повреждения стальных каркасов под действием сейсмических нагрузок, а также требованиям, которые необходимо соблюдать при проектировании стальных каркасов в сейсмически активных районах. Изучены наиболее подходящие материалы, которые можно использовать для того, чтобы усилить стальной каркас за счет его правильной работы относительно возникающих сейсмических нагрузок. Представлен анализ нагрузок, которые высчитываются по нормативным документам России и других стран мира, их сравнение между собой. Приведен обзор возможных экспериментальных способов определения прочности каркаса под сейсмическими нагрузками, а также критическая оценка используемых нормативных документов, а именно используемых формул и коэффициентов, и предложены альтернативные решения. Исследовано влияние грунта на прочностные показатели стального каркаса при сейсмической нагрузке, а также влияние собственных колебаний и форм конструкции на податливость оснований. Указаны перспективные конструктивные решения для стальных каркасов в случае возникновения землетрясений. Изучен опыт проектирования сейсмостойких сооружений за границей и проведен анализ материалов прошедших аварий в России и других странах мира.

Ключевые слова: сейсмостойкость, стальные каркасы, малоэтажные промздания.

Для цитирования: Ольфати Р.С. Проектирование стальных конструкций в сейсмических условиях // *Строительные материалы*. 2020. № 12. С. 58–62. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-58-62>

R.S. OLFATI, Candidate of Sciences (Engineering) (dr.ulfati@mail.ru)

Peoples' Friendship University of Russia, Department of Construction, Engineering Academy (6, Miklukho-Maklaya Street, Moscow, 117198, Russian Federation)

Design of Steel Structures in Seismic Conditions

The principles of designing earthquake-resistant steel frames of industrial buildings are considered. Particular attention is paid to the causes of damage to steel frames due to seismic loads impact, as well as the requirements that must be met when designing steel frames in seismically active areas. The most suitable materials that can be used to strengthen the steel frame, because of its correct operation relative to the resulting seismic loads have been studied. The analysis of loads calculated according to the normative documents of Russia and other countries of the world, and their comparison with each other are presented. An overview of possible experimental methods for determining the strength of the frame under seismic loads is given, as well as a critical assessment of the regulatory documents used, namely the formulas and coefficients used, and alternative solutions are proposed. The influence of soil on the strength parameters of the steel frame under seismic load, as well as the influence of own vibrations and forms of the structure on the pliability of the bases, were studied. Promising design solutions for steel frames in the event of earthquakes are indicated. The experience of designing earthquake-resistant structures abroad was studied and the materials of past accidents in Russia and other countries of the world were analyzed.

Keywords: earthquake resistance, steel frames, low-rise industrial buildings.

For citation: Olfati R.S. Design of steel structures in seismic conditions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 12, pp. 58–62. (In Russian).

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-58-62>

Интенсивное промышленное строительство, приближенное к источникам добычи природных ископаемых, вызывает необходимость обеспечения защиты промышленных объектов от непредвиденных разрушений в результате сейсмических воздействий. Поэтому в районах с высокой сейсмической активностью следует отдать предпочтение строительству промышленных зданий с несущими и ограждающими элементами из стали, принять меры по совершенствованию их конструктивных форм, способов сейсмозащиты и повышению технико-экономических показателей благодаря, присущей стальным конструкциям повышенной сейсмостойкости в сравнении со сборными и монолитными железобетонными конструкциями, не говоря уже о строениях из кирпича и местных материалов [1, 2].

Проектирование сейсмостойких стальных каркасов промзданий базируется на трех основных принципах:

- снижение собственной массы здания;
- уменьшение ускорений при колебаниях конструктивных элементов каркаса и здания в целом;
- исключение больших концентраций усилий и напряжений в расчетных сечениях конструкций.

Несмотря на высокую степень сейсмостойкости стальных каркасов промзданий, тем не менее имеются многочисленные примеры их повреждений и даже разрушений от сейсмических воздействий. Анализ материалов прошедших аварий в России и других странах мира позволил выделить следующие основные причины этих повреждений:

- а) нарушение технологии производства монтажных работ – 34%;
- б) ошибки при выполнении узлов сопряжения конструкции – 26%;
- в) нарушение правил технической эксплуатации – 16%;

г) проявление сейсмического воздействия выше прогнозируемого из-за недостаточного обоснования сейсмичности площадки строительства – 12%;

д) неудовлетворительное качество и несоответствие запроектированных мер сейсмозащиты современным требованиям – 5%;

е) отсутствие в настоящее время четких рекомендаций по сейсмозащите каркасов промышленных зданий в условиях высокой сейсмичности – 7% [3].

Таким образом, уже на стадии проектирования в 24% случаев стальной каркас промышленного здания обречен быть подвергнутым существенным повреждениям, вплоть до разрушения в результате сейсмического воздействия. Повреждения от динамических воздействий проявляются в виде разрывов и потери устойчивости элементов, развития остаточных деформаций, усталостных трещин в основном металле и сварных швах, расстройств болтовых и заклепочных соединений.

Как показывает международный опыт, при землетрясениях наиболее часто повреждаются и разрушаются вертикальные связи по колоннам и горизонтальные связи по нижним и верхним поясам стропильных ферм; имеют место повреждения и разрушения ступенчатых колонн в узлах сопряжения подкрановых балок с колоннами (в виде хрупкого разрушения); часто встречаются смещения колонн относительно вертикальной оси вследствие вытяжки и разрывов анкерных болтов и разрушения вертикальных связей между колоннами [4].

Помимо печального опыта прошедших на земле землетрясений, существенным источником информации о последствиях динамических явлений на характер и величину повреждений стальных конструкций вообще и каркасов промышленных зданий в частности являются экспериментальные исследования моделей, подобных реальным конструкциям. В одних случаях эти исследования служат для проверки достоверности выдвигаемой теоретической гипотезы и расчетного метода, в других – позволяют определить действительные динамические характеристики сооружений, проанализировать влияние различных дефектов и повреждений элементов, получить достоверную информацию о формах, частотах и декрементах собственных колебаний, линейных и угловых перемещений и пр.

Однако таких экспериментов из-за сложности их проведения и высокой стоимости относительно мало, а главное, они не позволяют прогнозировать действительное поведение конструкций в условиях реальной сейсмичности. С одной стороны, невозможно смоделировать виброграмму из-за многоволнового процесса землетрясения, а с другой – учесть реальные условия взаимодействия конструктивов и основания. Податливость основания отражается на частотах и формах собственных колебаний сооружений, приводя в конце концов к существенному искажению расчетных эпюр внутренних силовых факторов конструкции.

С использованием динамической модели основания, предложенной Д.Д. Барканом и О.А. Савиным, авторами были сопоставлены численные результаты сейсмического расчета всех предлагаемых для строительства в сейсмических районах схем каркасов одноэтажных промзданий с учетом и без учета податливости основания, показавших существование резерва прочности конструкции за счет инерции упругого основания. Более того, удалось установить для рассмотренных схем стальных каркасов одноэтажных промзданий диапазоны значений периодов собственных колебаний основного тона, для которых существенным является учет податливости упругого основания при оценке напряженно-деформированного состояния конструкции [5].

Следует заметить, что при наличии рыхлых грунтов для жестких сооружений, где поперечные смещения от податливости основания соизмеримы со смещениями от деформаций самого сооружения, учет инерционных свойств грунтов позволяет спроектировать сооружение на сниженную величину сейсмического воздействия до двух-трех раз. Таким образом, принятая в действующих нормах России СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах» дифференциация спектральной кривой динамического коэффициента β и увеличение сейсмической нагрузки в два раза для рыхлых грунтов (III категории) по сравнению с обычными грунтами (II категории) за счет повышения сейсмичности площадки строительства нуждается в корректировке путем проведения численных исследований расчетного характера с учетом конкретных динамических параметров конструкций. Заметим, что в случае горных районов грунт представляет собой скальные породы и крупнообломочные маловлажные грунты из магматических пород, относящиеся к грунтам I категории по сейсмическим свойствам. При этом СП 14.13330.2014 предписывает снижать сейсмичность площадки строительства на 1 балл по сравнению с сейсмичностью района, т. е. уменьшать сейсмическую нагрузку в два раза [5, 6].

Применительно к стальным каркасам такая рекомендация, по мнению автора, является преждевременной, так как, с одной стороны, эффект инерции основания при этом будет незначительным, а с другой – спектральный динамический коэффициент для стальной конструкции не может быть унифицирован с нормативным коэффициентом β_r , справедливым для железобетонной конструкции, вследствие различной величины логарифмического декремента затухания δ . Если для стальной конструкции $\delta \approx 0,1$, то для железобетонной конструкции $\delta \approx 0,3$, как его принимал проф. И.Л. Корчинский, создатель современной динамической теории сейсмостойкости [7–9].

На основе решения дифференциального уравнения колебания осциллятора получено выражение динамического коэффициента β при резонансе:

$$\beta = \frac{\pi}{\delta + \frac{\sqrt{(\delta \times \delta_0)}}{2} + \delta_0},$$

где δ_0 – логарифмический декремент затухания колебаний основания, принимаемый в среднем равным – 0,1.

Отсюда видно, что для металлических конструкций $\beta=9-10$, в то время как для железобетонных конструкций $\beta \approx 6$, что и было принято в качестве исходного значения при построении спектральных кривых динамических коэффициентов β_i .

Следовательно, динамический эффект сейсмического воздействия для стальных каркасов одноэтажных промышленных зданий должен быть принят более высоким, чем железобетонных.

Нуждается в уточнении и коэффициент K_i , учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений по степени их ответственности.

По СП 14.13330.2014 для стальных каркасов без вертикальных связей между колоннами $K_i=0,25$, а при наличии этих связей $K_i=0,22$, т. е. сейсмическая нагрузка уменьшается в 4–4,5 раза; при этом допускаются остаточные деформации и повреждения при обеспечении безопасности людей и сохранности оборудования. Насколько это соответствует действительности, трудно оценить [10].

Таким образом, существующий метод расчета стальных рам на сейсмическое воздействие представляется весьма условным и несовершенным, несмотря на столетний период своего развития.

Проанализировав различные нормы расчета по сейсмической нагрузке, можно убедиться, что они носят черты региональности, т. е. каждая из ведущих стран мира имеет собственный метод расчета, по форме достаточно отличный от других.

При сравнении СП 14.13330.2014 с нормами США, Японии и Индии было установлено, что результаты расчета могут весьма различаться в количественном отношении. Так, на примере расчета одной из конструктивных схем двухэтажного промздания на 9-балльное сейсмическое воздействие получены расхождения в максимальных изгибающих моментах до четырех раз, причем нормы России дают самые низкие результаты, а Индии – самые высокие.

Таким образом, в настоящее время нет универсальной и достоверной нормативной базы. Работу конструкции на сейсмическое воздействие следует обеспечивать прежде всего конструктивными примерами, нашедшими достаточно четкое обоснование и проверку.

Попытаемся сформулировать основные требования по проектированию стальных каркасов в сейсмических районах:

- компоновку промышленного здания следует выполнять в виде прямоугольной формы в плане, с симметрично расположенными пролетами без перепада высот смежных пролетов;

- антисейсмические швы следует осуществлять на парных колоннах и на одном общем фундаменте;

- следует добиваться снижения массы покрытия в целом и обеспечения его пространственной работы;

- следует рекомендовать увеличение пространственной жесткости каркаса и устойчивости покрытия в целом путем устройства промежуточной связевой фермы;

- все соединения конструкции должны обеспечивать плавный ход усилий без резких изменений траекторий и без зон концентрации напряжений;

- необходимо выполнение сварных швов с помощью электродов, обеспечивающих их пластичность [11];

- следует предусматривать выполнение, как правило, жесткого соединения ригеля с колоннами в узлах;

- при наличии жестких рамных узлов в оголовках колонн целесообразно заменить защемленные в фундаментах базы на шарнирные крепления колонн с установкой упругих фиксаторов горизонтального направления;

- вертикальные связи между колоннами, как элементы, наиболее подверженные сейсмическим воздействиям, особенно при высокой сейсмичности, следует исключить и принять вариант рамного каркаса не только в поперечном, но и в продольном направлении;

- необходимо обеспечить надежное крепление конструкции в узлах и в местах опирания с установкой амортизационных прокладок;

- при применении навесных стеновых панелей в уровне опирания на опорные столики колонн предусматривать горизонтальные антисейсмические швы, заполняемые упругими прокладками;

- фундамент сооружения следует выполнять в виде монолитной железобетонной плиты, установленной на гибких сваях или скользящей по основанию;

- при возведении зданий и сооружений в сейсмических районах целесообразно применять сваи специальных конструкций, к числу которых относятся корневидные сваи, обладающие высокой несущей способностью, в 4–5 раз превышающей несущую способность эталона при статических нагрузках и в два раза – при динамических нагрузках;

- наряду с пассивными методами для стальных каркасов промзданий следует предусматривать ряд активных специальных методов сейсмозащиты. К их числу относятся: конструкции фундаментов с подвижными опорами, нашедшие применение в Японии и Мексике; конструкции с катковыми опорами, примененные в России, Чили и ряде других государств; конструкции с односторонними включающимися и выключающимися связями, а также ряд других – с демферами между фундаментом и опорной частью здания в виде скользящего пояса в фундаменте с повышенными диссипативными свойствами; сейсмоизолирующие резиностальные цилиндрические опоры, снижающие до семи раз сейсмическое воздействие на каркас здания [8–14].

Перспективным следует считать применение преднапряженных листовых ограждений стен в качестве системы повышенной диссипации с нелинейным демпфированием и периодически выключающимися связями [15–18].

Список литературы

1. Ольфати Р.С. Вопросы сейсмостойкости стальных каркасов малоэтажных промзданий. *Международная научно-практическая конференция «Строительные конструкции XXI века»*. Москва. Ноябрь. 2000. НИУ МГСУ – МИСИ. С. 89–100.
2. Ольфати Р.С. Стальные конструкции малоэтажных промзданий в условиях высокой сейсмичности. Дис. ... канд. техн. наук. М., 2004. 175 с.
3. Воробьева К.В., Сорокина Г.В., Фрезе М.В., Смирнова Л.Н., Ван Хайбинь, Чанг Юань, Гуан Юхай. Расчет металлических пролетных строений мостов на сейсмическую нагрузку // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2016. № 4. С. 26–32.
4. Леонова А.Н. Современные способы реконструкции и повышения сейсмической устойчивости зданий. *Наука сегодня: глобальные вызовы и механизмы развития: Материалы международной научно-практической конференции*. Вологда, 2016. Т. 1. С. 40.
5. Бубис А.А., Петряшев Н.О., Петряшев С.О., Петросян А.Е. Натурные динамические испытания на сейсмостойкость архитектурно-строительной системы КУПАСС // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2016. № 2. С. 13–23.
6. Масляев А.В. Авторская парадигма строительной системы России // *Жилищное строительство*. 2020. № 1–2. С. 65–71. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-1-2-65-71>
7. Ведяков И.И., Востров В.К. Аварийные расчетные ситуации и аварийные сейсмические нагрузки // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2016. № 5. С. 33–38.
8. Белаш Т.А., Рыбаков П.Л. Здания с подвесными конструкциями в сейсмических районах // *Инженерно-строительный журнал*. 2016. № 5 (65). С. 17–26.
9. Тер-Мартirosyan А.З., Манукян А.В., Соболев Е.С., Анжело Г.О. Влияние демпфирования грунтов на взаимодействие основания и сооружения при сейсмическом воздействии // *Жилищное строительство*. 2019. № 1–2. С. 39–44. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-39-44>
10. Ливандовский Н.Н., Пахмурин О.Р. Численная оценка методики учета влияния грунтового основания на напряженно-деформированное состояние конструкций при действии сейсмической нагрузки. *Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы: Материалы III Международной научной конференции студентов и молодых ученых*. Томск, 2016. Т. 1. С. 190–195.

Конструктивные мероприятия по сейсмозащите стальных каркасов одноэтажных промышленных зданий, систематизированные в данной работе, могут быть использованы в реальных условиях строительства.

References

1. Olfati R.S. Issues of seismic stability of steel frames of low-rise industrial buildings. *International scientific-practical conference “Building structures of the XXI century”*. Moscow. November 2000, pp. 89–100. (In Russian).
2. Olfati R.S. Steel structures of low-rise industrial buildings in high seismic conditions. Dis... Candidate of Sciences (Engineering). Moscow. 2004. 175 p. (In Russian).
3. Vorobieva K.V., Sorokina G.V., Frese M.V., Smirnova L.N., Wang Haibin, Chang Yuan, Guang Yuhai. Calculation of metal spans of bridges for seismic load. *Seismic construction. Seysmostoykoye stroitel'stvo*. 2016. No. 4, pp. 26–32. (In Russian).
4. Leonova A.N. Modern methods of reconstruction and increasing the seismic stability of buildings. *Science today: global challenges and development mechanisms. Materials of the international scientific and practical conference*. Vologda. 2016. Vol. 1, p. 40. (In Russian).
5. Bubis A.A., Petryashev N.O., Petryashev S.O., Petrosyan A.E. Full-scale dynamic tests for seismic resistance of the KUPASS architectural and construction system. *Seysmostoykoye stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy*. 2016. No. 2, pp. 13–23. (In Russian).
6. Maslyayev A.V. Author's paradigm of the Russian construction system. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2020. No. 1–2, pp. 65–71. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-1-2-65-71>
7. Vedyakov I.I., Vostrov V.K. Emergency design situations and emergency seismic loads. *Seysmostoykoye stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy*. 2016. No. 5, pp. 33–38. (In Russian).
8. Belash T.A., Rybakov P.L. Buildings with suspended structures in seismic areas. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. No. 5 (65), pp. 17–26.
9. Ter-Martirosyan A.Z., Manukyan A.V., Sobolev E.S., Anzhelo G.O. Influence of soils damping on the interaction of the base and structure under seismic action. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2019. No. 1–2, pp. 39–44. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-39-44> (In Russian).
10. Livandovsky N.N., Pakhmurin O.R. Numerical assessment of the methodology for taking into account the influence of the soil foundation on the stress-strain state of structures under the action of a seismic load. *Youth, science, technologies: new ideas and perspectives. Materials of the III International Scientific Conference of Students and Young Scientists*. Tomsk. 2016. Vol. 1, pp. 190–195. (In Russian).

11. Gupta A.K. Response spectrum method: in seismic analysis and design of structures. 2017. 139 p.
12. Смирнов С.Б., Зулпуев А.М., Ордобаев Б.С., Абдыкеева Ш.С. Волновое импульсное воздействие на здания и сооружения // *Территория науки*. 2015. № 3. С. 56–63.
13. Кловский А.В., Мареева О.В. Особенности проектирования объектов повышенного уровня ответственности при пограничных значениях сейсмичности площадки строительства // *Природообустройство*. 2018. № 3. С. 63–68.
14. Сорокин А.Г., Добрынина А.А. Сравнительный анализ сейсмических и инфразвуковых сигналов при импульсных событиях и землетрясениях // *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле*. 2017. Т. 20. С. 106–116.
15. Ушаков О.Ю., Алехин В.Н. Метод расчета зданий и сооружений с учетом пространственного характера сейсмического воздействия // *Академический вестник УралНИИпроект РААСН*. 2014. № 3. С. 77–81.
16. Берри Б.Л. Модели сейсмичности, вращения Земли, климата и солнечной активности. Пространство и время землетрясений зоны Вранча // *Пространство и Время*. 2016. № 3. С. 220–235.
17. Саландаева О.И., Бержинская Л.П. Градостроительные особенности жилой застройки города Шелехова в условиях высокой сейсмичности // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2013. № 6 (77). С. 97–105.
18. Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В., Владова Г.Л., Прохорова Т.В. Уровень сейсмической опасности в районах стратегических энергетических объектов приграничных территорий России и ближнего зарубежья // *Электронное научное издание Альманах Пространство и Время*. 2013. № 1. С. 13.
11. Gupta A.K. Response spectrum method: in seismic analysis and design of structures. 2017. 139 p.
12. Smirnov S.B., Zulpuev A.M., Ordobaev B.S., Abdyykeeva Sh.S. Wave impulse impact on buildings and structures. *Territoriya nauki*. 2015. No. 3, pp. 56–63. (In Russian).
13. Klovsy A.V., Mareeva O.V. Features of the design of facilities with a higher level of responsibility at the boundary values of the seismicity of the construction site. *Prirodoobustroystvo*. 2018. No. 3, pp. 63–68. (In Russian).
14. Sorokin A.G., Dobrynina A.A. Comparative analysis of seismic and infrasonic signals during impulse events and earthquakes. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle*. 2017. Vol. 20, pp. 106–116. (In Russian).
15. Ushakov O.Yu., Alekhin V.N. Method for calculating buildings and structures taking into account the spatial nature of seismic impact. *Akademicheskij vestnik UralNIIProyekt RAASN*. 2014. No. 3, pp. 77–81. (In Russian).
16. Berry B.L. Models of seismicity, earth rotation, climate and solar activity. Space and time of earthquakes in the Vrancea zone. *Prostranstvo i Vremya*. 2016. No. 3, pp. 220–235. (In Russian).
17. Salandaeva O.I., Berzhinskaya L.P. Urban planning features of residential development in the city of Shelekhov in conditions of high seismicity. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2013. No. 6 (77), pp. 97–105. (In Russian).
18. Gatinsky Yu.G., Rundqvist D.V., Vladova G.L., Prokhorova T.V. The level of seismic hazard in the areas of strategic energy facilities of the border areas of Russia and the near abroad. *Elektronnoye nauchnoye izdaniye Al'manakh Prostranstvo i Vremya*. 2013. No. 1, p. 13.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Книга «Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий»

Авторы – Балакшин Ю.З., Терехов В.А.

Описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементно-песчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Даны характеристики сырьевым материалам – песку, щебню, вяжущим и химическим добавкам, и рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементно-песчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования. Книга предназначена для организации производственно-технического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу и широкому кругу специалистов.

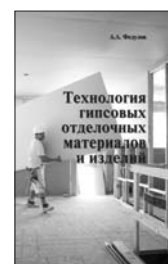


Книга «Технология гипсовых отделочных материалов и изделий»

Автор – Федулов А.А.

В книге описано производство гипсовых отделочных материалов и изделий от добычи сырья до упаковки готовой продукции. Особое внимание автор уделяет подробному описанию технологических линий и отдельных единиц оборудования, установленных на передовых предприятиях гипсовой промышленности. В книге представлено большое количество иллюстраций всех технологических переделов, которые помогут глубже представить и понять технологические процессы производства того или иного изделия. Описание технологии каждого вида гипсовых изделий основывается на существующих производственных регламентах предприятий России, Германии и Дании, включая шахты, карьеры, которые автор посещал лично.

Книга предназначена студентам, изучающим производство строительных материалов и конструкций в качестве дополнительного материала по технологии современных гипсовых изделий, а также для инженеров-технологов заводов, производящих гипсовую продукцию в качестве справочного материала.



Заявки направляйте в редакцию по e-mail: mail@rifsm.ru, по тел.: (499) 976-22-08, 976-20-36.

Оформляйте заказ на сайте www.rifsm.ru

УДК 624.15

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-63-65>Н.С. СОКОЛОВ^{1,2}, канд. техн. наук, директор (forstnpf@mail.ru, 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)

Разрядно-импульсная геотехническая электроразрядная технология усиления оснований

Проблема повышения несущей способности основания является актуальной в современном геотехническом строительстве. При существенных нагрузках, передаваемых на основание, использование традиционных технологий не всегда оправданно. Часто возникает настоятельная необходимость применения нестандартных способов усиления оснований. Во многих случаях геотехническая ситуация усугубляется наличием в инженерно-геологических разрезах слабых подстилающих слоев с неустойчивыми физико-механическими характеристиками. При усилении таких оснований с помощью традиционных свай последние могут получить негативное трение, существенно уменьшающее их несущую способность по грунту, достигающее иногда нулевых значений. Это может привести к дополнительным осадкам возводимого и возведенных в зоне геотехнического влияния объектов. Использование свай электро-разрядной технологии (ЭРТ) в большинстве случаев успешно решает многие сложные геотехнические проблемы.

Ключевые слова: геотехническое строительство, грунтобетонная свая, электроразрядная технология, буроинъекционная свая ЭРТ, промежуточные уширения (подпятники), удельная расчетная нагрузка.

Для цитирования: Соколов Н.С. Разрядно-импульсная геотехническая электроразрядная технология усиления оснований // *Строительные материалы*. 2020. № 12. С. 63–65. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-63-65>

N.S. SOKOLOV^{1,2}, Candidate of Sciences (Engineering), Director(forstnpf@mail.ru, ns_sokolov@mail.ru)¹ I.N. Ulianov Chuvash State University (15, Moskovsky Prospect, Cheboksary, Chuvash Republic, 428015, Russian Federation)² ООО НПФ «ФОРСТ» (109а, Kalinina Street, Cheboksary, Chuvash Republic, 428000, Russian Federation)

Discharge-pulse Geotechnical Electro Discharge Technology of Bases Strengthening

The problem of increasing the bearing capacity of the base is an relevant problem in modern geotechnical construction. When significant loads are transmitted to the base, the use of traditional technologies is not always justified. Often there is an urgent need to use non-standard ways to strengthen the bases. In many cases, the geotechnical situation is aggravated by the presence of weak underlying layers with unstable physical and mechanical characteristics in engineering-geological sections. When strengthening such bases with the help of traditional piles, the latter can get negative friction, which significantly reduces their bearing capacity on the ground, sometimes reaching zero values. This may lead to additional precipitations of the objects being constructed and constructed in the zone of geotechnical influence. The use of ERT piles in most cases successfully solves many complex geotechnical problems.

Keywords: geotechnical construction, soil-concrete pile, electric discharge technology, bored-injection pile ERT, intermediate widening (thrust bearings), specific design load.

For citation: Sokolov N.S. Discharge-pulse geotechnical electro discharge technology of bases strengthening. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 12, pp. 63–65. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-63-65>

Электроразрядная технология, обладая рядом технических и технологических преимуществ [1–9], широко используется в геотехнической практике устройства буроинъекционных свай ЭРТ в свайных полях, свай усиления оснований и фундаментов, закрепления оснований фундаментов, склонов, при устройстве нагелей и т. д. Технологическим преимуществом ее является взрывообразное преобразование электрической энергии в механическую. При этом плотность энергии электрогидравлического удара достигает 150 Дж/м³ в течение очень короткого времени (долей микросекунд). Электрогидравлический удар на грунт стенок скважины, заполненной мелкозернистым бетоном, соответствует статической нагрузке до 200 кПа [10–15]. В результате воздействия такого высокого давления и температуры в грунте образуется полость за счет сил гравитации, которая заполняется мелкозернистым бетоном. Тем самым возникает уширение на конкретном участке по высоте сваи ЭРТ. Это уширение далее назовем подпятником [16–25]. Таким образом возникает дополнительная опора, статически работающая совместно со свайей по ниж-

ней поверхности уширения и увеличивающая ее несущую способность по грунту.

Геометрические параметры формы уширения в первом приближении можно принять за сферу. Параметры сферы, такие, например, как диаметр d и ее высота h , зависят от энергии электрогидравлического удара, пористости, влажности и вида обрабатываемого грунта. Диаметр уширения d возможно определить по величине максимального понижения уровня мелкозернистого бетона в скважине, как говорят геотехники, по «уходам». Следует отметить, что величины «уходов» во время электрогидравлической обработки (именно поэтому при устройстве свай ЭРТ уровень мелкозернистого бетона всегда следует держать на отметке поверхности земли) и с течением времени существенно разнятся. «Уходы» во времени от начала бетонирования до начала твердения бетона могут составить от нескольких сантиметров до нескольких метров. Прежде всего такие большие понижения связаны со спецификой грунта как пористого материала. Эти вертикальные перемещения мелкозернистого бетона дополнительно увеличиваются за

Геотехническая технология, основанная на электроразрядной технологии, а также на технологии грунтоцементных свай GET	Область применения. Краткое описание технологии
Электроразрядная технология устройства буроинъекционных свай ЭРТ в свайных полях	Наиболее эффективна для применения в стесненных условиях и под большие внешние нагрузки, а также как усиленное свайное основание высотных зданий и сооружений
Электроразрядная технология устройства буроинъекционных свай ЭРТ как шпунтовая стенка ограждений котлованов	Технология устройства буроинъекционных свай ЭРТ как конструктив является консольной шпунтовой стенкой. Она в основном служит для обеспечения устойчивости стенок грунта неглубоких котлованов. В зависимости от количества рядов из свай ЭРТ стенка может обеспечить устойчивость стенок грунта котлованов разных глубин. Эту технологию как вариант можно использовать как упор массива грунта небольших оползневых и нагруженных склонов. Для обеспечения перераспределения сдвигающих нагрузок обязательным конструктивным элементом служит монолитный железобетонный обвязочный пояс поверху свай
Ограждение склонов, берегов водоемов и рек из комбинированной грунтобетонной сваи с использованием электроразрядной и GET технологий и монолитной железобетонной подпорной стены как заглубленной железобетонной конструкции	Геотехническая технология из комбинированной грунтобетонной сваи с использованием электроразрядной и GET технологий и монолитной железобетонной подпорной стены как противодиффузионной завесы и упора массива грунта
Устройство буроинъекционных свай ЭРТ как грунтовых железобетонных нагелей укрепления оползневого склона	Геотехническая технология служит для укрепления оползневого и нагруженного склона с помощью буроинъекционных свай ЭРТ, закрепляющих поверхность призмы обрушения. Часто используется совместно с монолитной железобетонной подпорной стеной с усиленным сваями ЭРТ основанием
Устройство буроинъекционных свай ЭРТ как свайного основания под монолитной железобетонной подпорной стеной	Геотехническая технология наиболее оптимально востребована как упор массива грунта от оползневого и нагруженного склона. Эта конструкция работает как консольная железобетонная конструкция. Для ее оптимизации в конструктивную схему возможно включение грунтовых анкеров ЭРТ в один или несколько рядов
Устройство грунтовых анкеров ЭРТ по электроразрядной технологии (анкера ЭРТ) как заглубленных железобетонных конструкций совместно со шпунтовой стенкой	Геотехническая технология с использованием грунтовых анкеров ЭРТ в составе шпунтовой стенки наиболее экономична по сравнению с консольными (нераскрепленными) подпорными стенами. Она оптимально подходит для обеспечения устойчивости грунта стенок котлованов, а также оползневых и нагруженных склонов
Комбинированные грунтовые анкера, устраиваемые по электроразрядной и GET технологиям как заглубленные железобетонные конструкции для обеспечения устойчивости стенок котлованов и оползневых склонов	Геотехническая технология с использованием грунтовых анкеров ЭРТ в составе шпунтовой стенки наиболее экономична по сравнению с консольными (нераскрепленными) подпорными стенами. Она оптимально подходит для обеспечения устойчивости грунта стенок котлованов, а также оползневых и нагруженных склонов

счет электроосмотического всасывания цементного молока в структуру грунта. В таблице приведена область применения геотехнической технологии, основанной на электроразрядной технологии, а также на технологии грунтоцементных свай GET.

Следует сказать, что при максимальных объемах всасывания цементного молока в поры грунта несущая способность свай ЭРТ повысилась бы многократно благодаря задействованию прочностных характеристик массива грунта, таких как удельное сцепление и угол внутреннего трения, в совместную работу со сваями. Но этому процессу препятствует то обстоятельство, что при замешивании мелкозернистого бетона и электрогидравлической обработке происходит его намагничивание. Это способствует образованию цементных коллоидов. В то же время их размеры многократно превосходят размеры пор грунта. К сожалению, пока нет технологии, воспрепятствующей комкованию цементного молока. Это возможно только при размагничивании биполей воды в бетоне.

В итоге необходимо обратить внимание еще на один аспект, связанный с возможным увеличением несущей способности оснований, усиленных буровыми сваями. В среде проектировщиков устоялось мнение о том, что чем больше диаметр буровой сваи, тем больше ее несущая способность по грунту. Это так. Но

критерием оценки несущей способности по грунту, по мнению автора, должны служить не диаметр и длина сваи, а «удельная несущая способность по грунту», т. е. несущая способность 1 м³ буровой сваи, а также «удельная расчетная нагрузка», т. е. расчетная нагрузка 1 м³ буровой сваи. При таком подходе, анализируя результаты расчетов несущей способности для свай ЭРТ и буронабивных свай разных диаметров, можно сделать вывод, что с увеличением диаметра буровых свай удельная несущая способность снижается, приближаясь к некоторой асимптоте. В то же время наиболее оптимальным по удельным характеристикам являются «микросваи», т. е. сваи ЭРТ, изготавливаемые по электроразрядным технологиям.

Список литературы / References

1. Cai F., Uga K. Numerical analysis of the stability of a slope reinforced with piles. *Soils and Foundations*. 2000. 40 (1), pp. 73–84.
2. Hassiotis S., Chamcau J.L., Gunaratne M. Design method for stabilisation of slopes with piles. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 1997. 123 (4), pp. 314–323.
3. Lee J.H., Salgado R. Detervation of pile base resistance in sands. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 1999. 125 (8), pp. 673–683.

4. Mandolini A., Russo G., Veggiani C. Pile foundations: experimental investigations, analysis and design. *Ground Engineering*. 2005. 38 (9), pp. 34–38.
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. Pichev 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. Ulickij V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Geotekhnicheskoe soprovozhdenie razvitiya gorodov [Geotechnical support of urban development]. Saint Petersburg: Georeconstruction, 2010. 551 p.
7. Pichev V.A., Kononov 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.
8. Plichev 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.
9. 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, № 157NIK.
10. 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.
11. 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.
12. Triantafyllidis Th., Schafer R. Impact of diaphragm wall construction on the stress state in soft ground and serviceability of adjacent foundations. *Proceedings of the 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Madrid, Spain. 22–27 September 2007, pp. 683–688.
13. Sokolov N.S. Ground Ancher Produced by Electric Discharge Technology, as Reinforced Concrete Structure. *Key Enginiring Materials*. 2018, pp. 76–81.
14. Sokolov N.S. Use of the Piles of Effective Type in Geotechnical Construction. *Key Enginiring Materials*. 2018, pp. 70–74.
15. Sokolov N.S. One of Geotechnological Technologies for Ensuring the Stability of the Boiler of the Pit. *Key Enginiring Materials*. 2018, pp. 56–69.
16. Sokolov N.S. Regulated injection pile-electric discharge technology with multiple pile enlargements posed as an underground reinforced concrete structure with a controlled load capacity. *18 international multi-disciplenary scientific GeoConference SGEM 2018 Albena Resort SPA Bulgaria*. 2018, pp. 601–608.
17. Sokolov N.S. One of the geotechnical technologies to strengthen the foundation base in constraint environment in the addition of 4 floors. *18 international multi-disciplenary scientific GeoConference SGEM 2018 Albena Resort SPA Bulgaria*. 2018, pp. 513–522.
18. Sokolov N.S., Viktorova S.S. Method of aligning the turches of objects targe-sized foundations and increased loads on them. *Key Enginiring Materials*. 2018, pp. 1–11.
19. Соколов Н.С., Соколов А.Н., Соколов С.Н., Глушков В.Е., Глушков А.Е. Расчет буроинъекционных свай повышенной несущей способности // *Жилищное строительство*. 2017. № 11. С. 20–26.
19. Sokolov N.S., Sokolov A.N., Sokolov S.N., Glushkov V.E., Glushkov A.E. Calculation of increased bearing capacity bored piles. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2017. No. 11, pp. 20–26. (In Russian).
20. Соколов Н.С. Фундамент повышенной несущей способности с использованием буроинъекционных свай ЭРТ с множественными уширениями // *Жилищное строительство*. 2017. № 9. С. 25–29.
20. Sokolov N.S. The Foundation of Increased Bearing Capacity employing bored electric discharge (ЭРТ) piles with multi-seat broadening. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2017. No. 9, pp. 25–29. (In Russian).
21. Nikolay Sokolov, Sergey Ezhov, Svetlana Ezhova. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem. *Journal of applied engineering science*. Vol. 15. article 482, pp. 518–523. DOI: 10.5937/jaes15-14719.
22. Соколов Н.С., Викторова С.С. Исследование и разработка разрядного устройства для изготовления буровой набивной сваи // *Строительство: Новые технологии – новое оборудование*. 2017. № 12. С. 38–43.
22. Sokolov N.S., Viktorova S.S. Research and Development of a Discharge Device for Manufacturing a Bored Pile. *Stroitelstvo: noviye tekhnologiyi – novoye oborudovaniye*. 2017. No. 12, pp. 38–43. (In Russian).
23. Соколов Н.С. Алгоритм понижения полов подвала с использованием свай ЭРТ и грунтовых анкеров ЭРТ // *Бетон и железобетон*. 2020. № 2 (602). С. 39–47.
23. Sokolov N.S. The algorithm of lowering floors of the basement with the use of piles ERT and ground anchors ERT. *Beton i Zhelezobeton [Concrete and Reinforced Concrete]*. 2020. No. 2 (602), pp. 39–47. (In Russian).
24. Sokolov N. Electroimpulse Device for Manufacture of Continuous Flight Augering Piles. *Current Trends in Civil and Structural Engineering*. August 2020.
25. Sokolov N. Approach to Increasing the Carrying Capacity of the Pile Base. *Current Trends in Civil and Structural Engineering*. August 2020.

Г.Н. МАМЕДОВ, канд. техн. наук (huseyn.mamedov@rambler.ru),
И.Г. СУЛЕЙМАНОВА, д-р философии (irada.suleyman@mail.ru),
Б.М. ТАГИРОВ, научный сотрудник (tahirov-bahadur@mail.ru)

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт строительных материалов им. С.А. Дадашева (НИИПКИСМ им. С.А. Дадашева) (Азербайджанская Республика, г. Баку, ул. Физули, 67, Az 1014)

Высокоэффективный легкий заполнитель из стеклосодержащих отходов

Описаны свойства высокопрочного искусственного пористого заполнителя из стеклосодержащих отходов металлургических производств. Разработанная технология дает возможность расширить сырьевую базу производства заполнителей для легких бетонов. Исследованы гранулированные шлаки металлургических производств – основные ($M_0 > 1$) шлаки Новокузнецкого металлургического комбината и кислые ($M_0 < 1$) шлаки Горьковского завода. По результатам исследований выявлено, что оптимальный интервал вспучивания для кислых шлаков составляет 1000–1100°C, а для основных шлаков – 1100–1150°C. Получен высокопрочный искусственный пористый заполнитель – шлаковый гравий с насыпной плотностью 340–780 кг/м³, прочностью при сдавливании в цилиндре 2,8–12,3 МПа. Изучены основные физико-механические свойства полученного заполнителя, который удовлетворяет требованиям действующего стандарта ГОСТ 9757–90 «Гравий, щебень и песок. Искусственные пористые». Полученный заполнитель по прочности почти в два раза превосходит известный заполнитель керамзитовый гравий. С применением пористого гравия и песка получен легкий бетон класса по прочности В7,5–В40 и плотностью 1100–1600 кг/м³.

Ключевые слова: энергосбережение, ресурсосбережение, гранулированные шлаки, температура вспучивания, пористая структура, пористый заполнитель, прочность, плотность.

Для цитирования: Мамедов Г.Н., Сулейманова И.Г., Тагиров Б.М. Высокоэффективный легкий заполнитель из стеклосодержащих отходов // *Строительные материалы*. 2020. № 12. С. 66–71. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-66-71>

H.N. MAMMADOV, Candidate of Sciences (Engineering) (huseyn.mamedov@rambler.ru),
I.H. SULEYMANOVA, Ph. D (irada.suleyman@mail.ru), B.M. TAHIROV, Researcher (tahirov-bahadur@mail.ru)
Research and Design Institute of Building Materials named after S.A. Dadashov (67, Fizuli Street, Az 1014, Baku, Azerbaijan)

High-Effective Lightweight Aggregate Obtained from Glass-Containing Waste

The properties of high-strength artificial porous aggregate from glass-containing waste of metallurgical productions are described. The developed technology makes it possible to expand the raw material base for the production of aggregates for light concrete. Granulated slags of metallurgical productions – the main ($M_0 > 1$) slags of the Novokuznetsk Iron and Steel Plant and acid ($M_0 < 1$) slags of the Gorky plant are studied. According to the results of studies, it was found that the optimal swelling interval for acidic slags is 1000–1100°C, and for basic slags – 1100–1150°C. A high – strength artificial porous aggregate-slag gravel with a bulk density of 340–780 kg/m³ and a compressive strength in the cylinder of 2.8–12.3 MPa was obtained. The main physical and mechanical properties of the resulting aggregate, which meets the requirements of the current standard GOST 9757–90 “Gravel, crushed stone and sand. Artificial porous”, were studied. The aggregate obtained is almost twice as strong as the known aggregate of expanded clay gravel. With the use of porous gravel and sand, light concrete of strength class B7.5–B40 and a density of 1100–1600 kg/m³ was obtained.

Keywords: energy saving, resource saving, granular slags, swelling temperature, porous structure, porous aggregate, strength, density.

For citation: Mammadov H.N., Suleymanova I.H., Tahirov B.M. High-effective lightweight aggregate obtained from glass-containing waste. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 12, pp. 66–71. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-787-12-66-71>

Комплексное использование природных ресурсов и отходов промышленного производства – важная народнохозяйственная задача. Найти применение отходам производства для изготовления, в частности, строительных материалов – значит сберечь материальные, трудовые, а также природные ресурсы, в той или иной степени решить вопросы защиты окружающей среды от загрязнения [1–3].

Так, гранулированные металлургические шлаки являются попутным продуктом металлургической (черной и цветной) промышленности, представляют собой ценное сырье, требующее разумного использования в народном хозяйстве [4–6].

Принимая во внимание, что значительное количество шлаков металлургических и химических производств еще не используется, разработка технологии

получения из металлургических шлаков высокоэффективных строительных материалов, в частности пористых заполнителей, является актуальной задачей.

Возможности использования металлургических шлаков для производства пористых заполнителей в СССР были изучены достаточно, организовано производство шлакопемзового щебня, получаемого путем быстрого охлаждения и поризации горячего расплава шлаков металлургических производств [4, 7, 8].

Однако выпускаемая шлаковая пемза имеет значительную низкую прочность при сдавливании в цилиндре и ограниченность в применении в легком бетоне. Основной причиной является отсутствие возможности направленного воздействия на регулирование пористой структуры и фазового состава получаемого заполнителя.

Применение пористого заполнителя, изготовленного из стеклосодержащих масс, имеющего мелкопористую структуру и оптимальный состав, дает возможность повышения удельной прочности легкого бетона и расширяет область эффективного использования в строительстве [9–11].

В основу исследования положена научная гипотеза о возможности получения из металлургических шлаков пористых заполнителей с равномерной пористой структурой, регулируемым фазовым составом и заданными физико-механическими свойствами. Это ??? при переходе от поризации огненно-жидких шлаков к вспучиванию гранул.

В НИиПКИСМ им. С.А. Дадашева с целью расширения сырьевой базы и использования отходов промышленности для получения высокоэффективных искусственных пористых заполнителей проведены исследования и по их результатам разработана технология получения пористого гравия для легких бетонов из стеклосодержащих отходов металлургического производства [12, 13].

При проведении экспериментальных исследований, а также при выполнении полупромышленных проверок были использованы гранулированные основные ($M_0 > 1$) шлаки Новокузнецкого металлургического комбината и кислые ($M_0 < 1$) шлаки Горьковского завода, различающиеся между собой по модулю основности (M_0). Насыпная плотность меняется в пределах 1300–1400 кг/м³. Химический состав гранулированных металлургических шлаков представлен в табл. 1.

Исследованиями выявлено, что одним из основных требований для поризации является количество первичных кристаллических фаз в составе масс. Рентгеноструктурный анализ показывает, что в обоих видах шлаков в процессе быстрого охлаждения гранулирование происходит в относительно нормальных условиях, почти отсутствует кристаллизация. На рентгенограмме гранулированных шлаков основным составляющим компонентом является стеклофаза (рис. 1, а, б).

В исследованиях по изучению кинетики вспучивания массы на основе гранулированных шлаков изготавливались образцы из подготовленной шихты с применением корректирующих добавок в виде цилиндров диаметром и высотой 16 мм, а также гранулы на лабораторном тарельчатом грануляторе. Для

изучения процессов структурообразования, протекающего при нагревании вспучивающихся масс, и формирования пористой структуры применили методы рентгеноструктурного, дифференциально-термического и петрографического анализа.

Результаты исследований по вспучиваемости массы на основе металлургических шлаков, а также изменение плотности и прочности вспученных образцов представлены на рис. 2.

Результаты исследований показали, что на процесс поризации и формирования пористой структуры заполнителя существенное влияние оказывает состав и дисперсность шихты, из которой изготавливаются сырьевые гранулы, а также режимы их вспучивания. Первичная пористость возникает при грануляции диспергированной шихты. Значительная часть пор, образовавшихся в этот период, фиксируется в гранулах во время их термической обработки.

Характер вспучивания гранул присущ обеим разновидностям исследуемых шлаков. Однако температурные интервалы их размягчения, спекания и вспучивания значительно отличаются между собой. Так, размягчение кислого шлака и переход его в пиропластическое состояние происходит при температуре 820–850°C (рис. 2, 1). В этом интервале плотность повышается и достигает 1,8 г/см³, а для основного шлака – в интервале 930–950°C (рис. 2, 2). Интенсивное вспучивание образцов, изготовленных из кислых шлаков, происходит в интервале температуры 870–1000°C, а из основных шлаков – в интервале 970–1100°C. В указанном температурном интервале происходит формирование пористой структуры заполнителя. С завершением процесса газовыделения завершается вспучивание гранул. С повышением температуры вспучивания до 1030–1100°C отмечается повышение плотности гранул, изготовленных из кислых шлаков, до 1 г/см³, а из основных шлаков такая же плотность достигается при температурном интервале 1120–1170°C.

Результаты исследований показывают, что в обоих шлаках после максимального вспучивания с повышением температуры на 50–100°C отмечается повышение плотности, соответственно прочность гранул значительно повышается. Так, при температуре вспучивания около 1000°C плотность вспученных гранул, изготовленных на основе кислых шлаков, составляет 0,72–0,75 г/см³, прочность при сжатии составляет

Таблица 1
Table 1

Химический состав гранулированных металлургических шлаков
Chemical composition of granulated metallurgical slags

Вид шлака	Содержание окислов, %										Модуль основности
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O + K ₂ O	SO ₃	S	
Доменный шлак, $M_0 > 1$ производства чугуна	38,67	10,57	–	5,78	35,4	5,57	2,74	0,72	0,69	0,45	1,14
Ваграночный шлак, $M_0 < 1$ производства стали	47,27	9,4	12,7	8,19	17	0,67	3,8	0,68	0,59	0,12	0,31

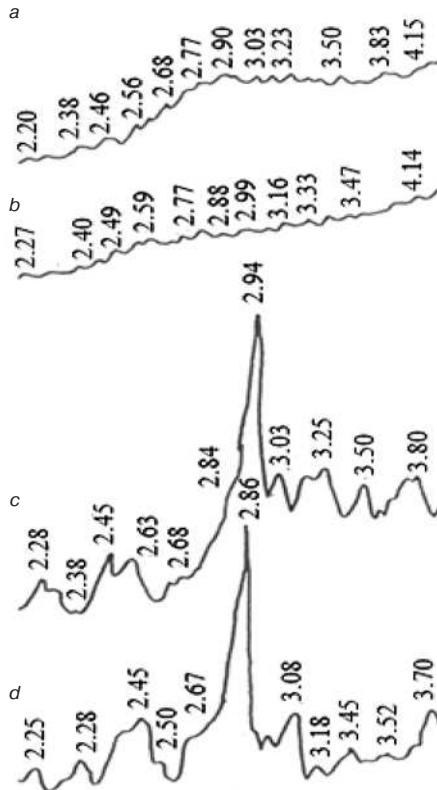


Рис. 1. Результаты рентгеноструктурного анализа гранулированных шлаков и заполнителей на их основе: а – гранулированные кислые ($M_0 < 1$) шлаки Горьковского завода; б – гранулированные основные ($M_0 > 1$) шлаки Новокузнецкого металлургического комбината; в – гравий из кислых шлаков, вспученный при температуре 1000–1100°C; д – гравий из основных шлаков, вспученный при температуре 1100–1150°C

Fig. 1. Results of X-ray diffraction analysis of granular slags and aggregates based on them: а – granular acidic ($M_0 < 1$) slags of the Gorky plant; б – granular main ($M_0 > 1$) slags of Novokuznetsk Metallurgical Plant; в – acid slag gravel expanded at temperature 1000–1100°C; д – gravel from the main slag, expanded at temperature 1100–1150°C

27 МПа. При повышении температуры вспучивания до 1100°C плотность повышается до 1 г/см³, а прочность при сжатии достигает 53 МПа. Одинаковая плотность (0,98–1 г/см³) вспученных гранул получается при разной температуре (950–1100°C) (рис. 2, точки а и б). Однако прочность вспученных гранул резко отличается друг от друга и соответственно составляет 18 и 53 МПа (рис. 2, точки а' и б'). Это свидетельствует о том, что при температуре 950°C не достигается формирования оптимальной пористой структуры. Продолжается газовыделение, поризация массы и формирование пористой структуры. Снижение плотности фиксируется до температуры 1000°C. Формируется оптимальная пористая структура. При этой температуре прекращается процесс газовыделения и завершается вспучивание массы. Плотность вспученных гранул снижается до 0,72–75 г/см³. С повышением температуры вспучивания выше 1000°C отмечается повышение плотности, которое продолжается до 1100°C. При этом плотность вспученных гранул достигает 0,98–1 г/см³. При температуре 1000–1100°C после формирования оптимальной пористой структуры происходит упрочнение межпоро-

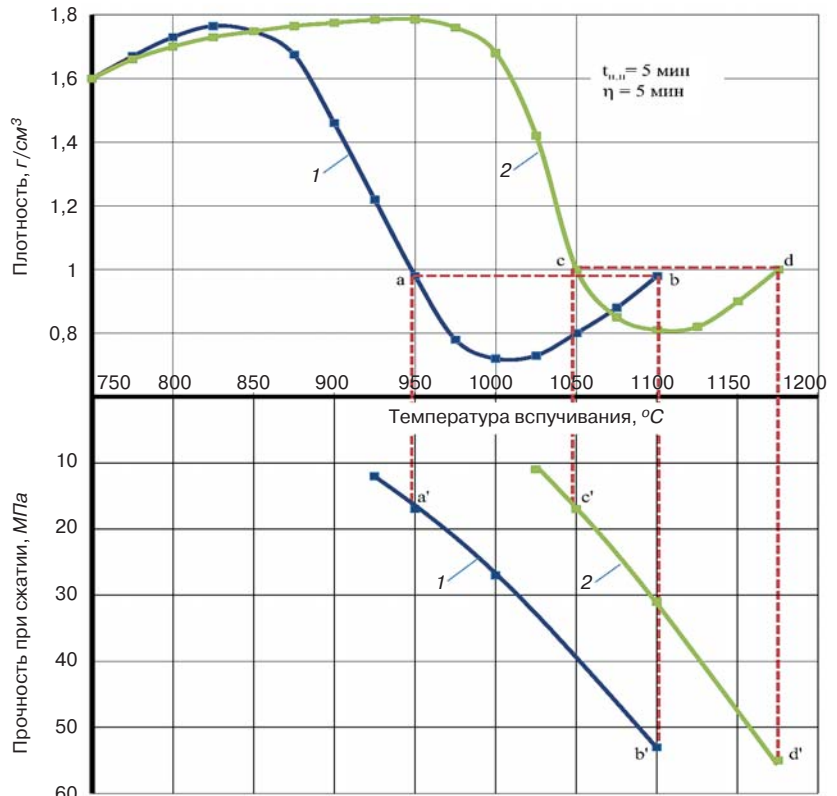


Рис. 2. Изменение плотности и прочности вспученных образцов из гранулированных металлургических шлаков в зависимости от температуры вспучивания: 1 – образцы из кислых шлаков ($M_0 < 1$) черной металлургии; 2 – образцы из основных шлаков ($M_0 > 1$) черной металлургии

Fig. 2. Change of density and strength of expanded samples from granulated metallurgical slags depending on the temperature of expansion: 1 – samples from acid slags ($M_0 < 1$) of ferrous metallurgy; 2 – samples from the main slags ($M_0 > 1$) of the iron and steel industry

вых стенок и в результате резко повышается прочность получаемого заполнителя. Аналогичное явление фиксируется в образцах, изготовленных на основе основных шлаков, однако их размягчение, спекание и вспучивание происходят при более высокой температуре. По результатам исследований выявлено, что оптимальный интервал вспучивания для кислых шлаков составляет 1000–1100°C, а для основных шлаков – 1100–1150°C. При этом формируется оптимальная пористая структура и обеспечиваются условия для получения легкого заполнителя с высокими физико-механическими свойствами.

Рентгеноструктурные анализы заполнителя показали, что после формирования пористой структуры происходит частичная кристаллизация в межпоровых стеклах (рис. 1, в, д). В стеклофазе стенок межпоровых перегородок заполнителя из кислых шлаков образуются минералы – волластонит и в незначительном количестве мелилит, а у заполнителя из основных шлаков – мелилит и геленит. Совместное влияние двух факторов – образование равномерно распределенных мелких замкнутых пор и кристаллизации стеклофазы стенок межпоровых перегородо-

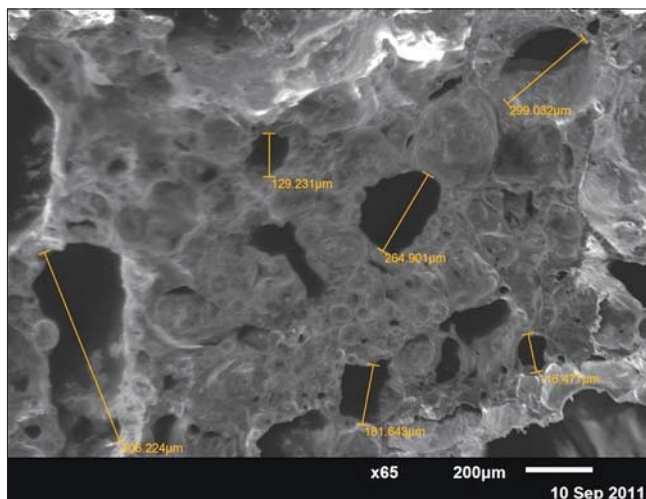


Рис. 3. Микроструктура пористого гравия на основе гранулированных основных ($M_0 > 1$) шлаков черной металлургии (ув. $\times 65$)

Fig. 3. Microstructure of porous gravel based on granular main ($M_0 > 1$) slags of metallurgical (black) industry ($\times 65$)

док – обеспечивает получение пористого гравия из металлургических шлаков высокой прочности.

Структурные элементы представлены мелкозернистым стекловатым веществом, пронизанным аморфизованным материалом темно-серого цвета. Последние по своему высокому показателю светопреломления отличаются от основной стекловатой массы. Пory имеют различные формы, большей частью неправильно сферические, диаметром от 5–8 мкм до 0,3 мм.

Содержание пор достигает 68–70%. Микроструктура заполнителя, изготовленного на основе шлаков металлургической промышленности, представлена на рис. 3.

Таким образом, процесс поризации и вспучивания гранул из гранулированных металлургических шлаков состоит из трех основных этапов: диспергирования и формирования при грануляции первичной пористой структуры, спекания с образованием закрытых пор и собственно вспучивания под давлением газов, выделяющихся внутри закрытых пор.

Таблица 2
Table 2

Физико-механические свойства пористого заполнителя из металлургических шлаков
Physical and mechanical properties of porous aggregate from metallurgical slags

Показатель	Марка заполнителя по насыпной плотности				
	400	500	600	700	800
Насыпная плотность, кг/м ³	$\frac{360}{340}$	$\frac{470}{430}$	$\frac{570}{530}$	$\frac{680}{640}$	$\frac{760}{720}$
Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа	$\frac{3,2}{2,8}$	$\frac{5,2}{4,6}$	$\frac{6,6}{5,2}$	$\frac{9,2}{7,8}$	$\frac{11,5}{10,4}$
Водопоглощение, мас. %, за 1 ч	$\frac{25}{28}$	$\frac{23}{25}$	$\frac{20}{23}$	$\frac{18}{20}$	$\frac{16}{18}$
Морозостойкость, циклов, не менее	15	15	15	15	15

Примечание. Коэффициент формы зерен 1.
Над чертой – показатели заполнителя фракции 5–10 мм, под чертой – показатели заполнителя фракции 10–20 мм.

Таблица 3
Table 3

Сравнительные физико-механические показатели полученного легкого заполнителя на основе металлургических шлаков с нормативными
Comparison of physical and mechanical indices of the obtained light aggregate based on metallurgical slags with normative ones

Свойства заполнителя фракции 5–20 мм	Марка заполнителя по насыпной плотности		
	Гравий из металлургических шлаков	Керамзитовый гравий по ГОСТ 9757–90	Шлакопемзовый щебень по ГОСТ 9757–90
	400–800	400–800	400–800
Плотность, г/см ³	2,46–2,48	2,5–2,52	2,9–3,1
Насыпная плотность, кг/м ³	380–780	370–800	400–800
Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа	3,6–6,6	1,5–5,5	0,5–1,8
Водопоглощение, мас. %, за 1 ч	16–20	20–26	–
Среднее значение коэффициента формы зерен гравия	1	1,5–1,8	–
Содержание в гравии расколотых зерен, мас. %	3–5	8–12	–
Морозостойкость, циклов, не менее	15	15	–

Результаты исследований прошли опытно-промышленную проверку. Физико-механические свойства пористого гравия из металлургических шлаков приведены в табл. 2.

Сравнительные физико-механические показатели заполнителя по разработанной технологии и нормативные представлены в табл. 3.

Полученный заполнитель имеет округлую форму, шероховатую поверхность, низкое водопоглощение по массе и высокую прочность при сдавливании в цилиндре.

При одинаковой насыпной плотности пористый гравий, изготовленный из металлургических гранулированных шлаков, по прочности в 1,8–2,2 раза превосходит керамзитовый гравий, изготовленный из глины, и в шесть раз прочнее, чем шлакопемзовый щебень, изготовленный из металлургических расплавов.

Выявлено, что полученный легкий заполнитель, изготовленный из гранулированных металлургических шлаков, по своим физико-механическим свойствам отвечает требованиям действующего стандарта ГОСТ 9757–90 «Гравий, щебень и песок. Искусственные пористые» и может быть рекомендован для изготовления теплоизоляционных, теплоизоляционно-конструкционных и конструкционных легких бетонов.

С использованием полученных заполнителей были подобраны оптимальные составы легкого бетона. С применением пористого песка (дробленого крупной фракции того же гравия) получен легкий бетон класса по прочности В7,5–В40 и плотностью 1100–1600 кг/м³. А с применением природного плотного песка и пластифицирующих добавок получен легкий бетон класса по прочности В25–В50 плотностью 1500–1800 кг/м³.

Расход цемента на 1 м³ бетона составляет 210–550 кг. Получение высокопрочных легких бетонов класса по

Список литературы

1. Столбушкин А.Ю., Стороженко Г.И. Отходы углеобогащения как сырьевая и энергетическая база заводов керамических стеновых материалов // *Строительные материалы*. 2011. № 4. С. 43–46.
2. Дубинецкий В.В., Гурьева В.А., Вдовин К.М. Применение бурого шлама в качестве отощителя для производства керамического кирпича: *Материалы Всероссийской научно-методической конференции. ОГУ*. 2014. С. 145–147.
3. Кувыкин Н.А., Бубнов А.Г., Гриневич В.И. Опасные промышленные отходы. Иваново: Ивановский государственный химико-технологический университет, 2004. 148 с.
4. Ицкович С.М. Заполнители для бетона. Минск: Вышэйшая школа, 1983. 213 с.
5. Роговой М.И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики / Репринтное воспроизведение издания 1974 г. М.: Эколит, 2011. 320 с.

прочности В25–В50 открывает возможность изготовления на их основе несущих конструкций широкого применения.

Выводы

1. Разработана технология искусственного пористого заполнителя на основе гранулированных металлургических шлаков и получен качественно новый высокопрочный и легкий шлаковый гравий с насыпной плотностью 340–780 кг/м³, прочностью при сдавливании в цилиндре 2,8–12,3 МПа.

2. Изучена кинетика вспучивания массы на основе гранулированных металлургических шлаков, выявлен механизм процесса вспучивания и закономерности формирования пористой структуры, определены зависимости основных физико-механических свойств полученных заполнителей от температурно-временных параметров.

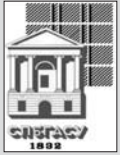
3. Выпущены опытно-промышленные партии высокопрочного шлакового гравия на основе гранулированных металлургических шлаков и изучены физико-механические свойства полученного заполнителя.

4. Полученный пористый гравий апробирован в бетоне. С применением пористого гравия и песка получен легкий бетон класса по прочности В7,5–В40 и плотностью 1100–1600 кг/м³. А с применением природного плотного песка и пластифицирующих добавок получен легкий бетон класса по прочности В25–В50 и плотностью 1600–1800 кг/м³. Расход цемента на 1 м³ бетона составляет 210–550 кг.

References


1. Stolbushkin A.Yu., Storozhenko G.I. Waste coal preparation as a raw material and energy base of ceramic wall materials plants. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2011. No. 4, pp. 43–46. (In Russian).
2. Dubynetsky V.V., Guryeva V.A., Vdovin K.M. Application of brown sludge as a guard for the production of ceramic bricks: *Proceedings of the All-Russian Scientific and Methodological Conference – OSU*. 2014, pp. 145–147. (In Russian).
3. Kuvykin N.A., Bubnov A.G., Grinevich V.I. *Opasnye promyshlennye othody [Hazardous industrial waste]*. Ivanovo: Ivanovo State University of Chemical Technology. 2004. 148 p.
4. Itskovich S.M. *Zapolniteli dlja betona [Fillers for concrete]*. Minsk: Higher School. 1983. 213 p.
5. Rogovoy M.I. *Tehnologija iskusstvennyh poristyh zapolnitelej i keramiki [Technology of artificial porous aggregates and ceramics]*. Moscow: Ekolite. 2011. 320 p.
6. Vasilkov S.G., Onatsky S.P., Elinzon M.P. *Iskusstvennye poristye zapolniteli i legkie betony na ih osnove [Artificial porous aggregates and lightweight concretes based on them]* Moscow: Stroyizdat. 1987. 296 p.

6. Васильков С.Г., Онацкий С.П., Элинзон М.П. и др. Искусственные пористые заполнители и легкие бетоны на их основе. М.: Стройиздат, 1987. 296 с.
7. Волженский А.В., Буров Ю.С. и др. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов. М.: Изд. литературы по строительству, 1969. 391 с.
8. Горайнов К.Э., Горайнова С.К. Технология теплоизоляционных материалов и изделий. М.: Стройиздат, 1982. 376 с.
9. Давидюк А.Н. Легкие конструкционно-теплоизоляционные бетоны на стекловидных пористых заполнителях. М.: Красная звезда, 2008. 208 с.
10. Королев Е.В., Иноземцев А.С. Высокопрочные легкие бетоны: структура и свойства. *Бетон и железобетон – взгляд в будущее. III Всероссийская (II Международная) конференция по бетону и железобетону*, Москва. 2014. Т. V. С. 277–286.
11. Korolev E.V., Inozemtcev A.S. Preparation and research of high-strength lightweight concrete based on hollow microspheres // *Advanced Materials Research*. 2013. T. 746. P. 285–288. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.746.285
12. Мамедов Г.Н. Высокопрочные искусственные пористые заполнители. Баку, 2000. 222 с.
13. Мамедов Г.Н., Мирзоев М.М. Пористый гравий на основе различных шлаков и слабообсечивающихся камнеподобных глин, высокопрочные легкие бетоны на их основе // *Технологии бетонов*. 2014. № 11. С. 16–18.
7. Volzhensky A.V, Burov Yu.S. etc. *Betony i izdelija iz shlakovyh i zol'nyh materialov* [Concretes and products from slag and ash materials]. Moscow: Stroyizdat. 1969. 391 p.
8. Goryainov K.E, Goryainova S.K. *Tehnologija teploizoljacionnyh materialov i izdelij* [Technology of heat-insulating materials and products]. Moscow: Stroyizdat. 1982. 376 p.
9. Davidyuk A.N. *Legkie konstrukcionno-teploizoljacionnye betony na steklovidnyh poristyh zapolniteljah* [Lightweight structural and thermal insulating concretes on glassy porous aggregates]. Moscow: Krasnaya Zvezda. 2008. 208 p.
10. Korolev E.V, Inozemtcev A.S. *High-strength lightweight concretes: structure and properties. Concrete and reinforced concrete – a look into the future III All-Russian (II International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete*, Moscow. 2014. Vol. V, pp. 277–286.
11. Korolev E.V., Inozemtcev A.S. Preparation and research of high-strength lightweight concrete based on hollow microspheres. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 746. C. 285–288. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.746.285
12. Mamedov G.N. *Vysokoprochnye iskusstvennye poristye zapolniteli* [High-strength artificial porous fillers]. Baku, 2000. 222 p.
13. Mamedov G.N, Mirzoev M.M. *Porous gravel on the basis of various slags and weaklybonding stone-like clays, high-strength lightweight concretes on their basis. Tehnologii betonov*. 2014. No. 11, pp. 16–18. (In Russian)



**Международная научно-техническая конференция по геотехнике
«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ
ГЕОТЕХНИКИ: ИЗЫСКАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ»
(GFAC 2021)**





г. Санкт-Петербург

27–29 октября 2021 г.



Основная тематика конференции:

- Специальные полевые и лабораторные методы исследования физико-механических характеристик грунтов;
- Теоретические и практические аспекты механики грунтов
- Модели грунтовых оснований и их применение в проектировании
- Геотехническое обоснование и научно-техническое сопровождение инженерных изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации оснований фундаментов, подземных и земляных сооружений;
- Численное моделирование системы: «основание-фундамент-здание» в программных комплексах;

- Новые перспективные конструктивно-технологические решения при строительстве оснований, фундаментов, подземных сооружений и высотных зданий;
- Новое строительство и реконструкция зданий и сооружений в плотной городской застройке и в условиях структурно-неустойчивых грунтов;
- Исследование свойств мерзлых и оттаивающих грунтов, конструкции фундаментов и методы строительства на них
- Геотехнический мониторинг при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений;
- Анализ причин развития аварийных ситуаций при проектировании и строительстве фундаментов зданий и сооружений.

Основные даты подачи заявок:
 Участие в качестве слушателя до 18 октября 2021 г.
 Выступление с докладом до 10 сентября 2021 г.
 Публикация в сборнике, издаваемом СПбГАСУ (индексация в РИНЦ) до 1 мая 2021 г.
 Публикация в сборнике, издаваемом Balkema, (индексация в SCOPUS и WEB OF SCIENCES) до 1 мая 2021 г.

Контактные данные секретариата конференции СПбГАСУ:
 Калач Филипп Николаевич – зам. научного секретаря конференции, моб. телефон: +7 (921) 847-92-93
 e-mail: GFAC-2021-SPBGASU@yandex.ru
 Адрес секретариата: 190005, Санкт-Петербург, 3-я Красноармейская ул., дом 7, СПбГАСУ, кафедра Геотехники

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до пяти журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Жилищное строительство» для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

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 2–3 года в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.
2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние пять 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.

ВНИМАНИЕ! С 1 января 2020 г. изменены требования к оформлению статей. Обязательно ознакомьтесь с требованиями на сайте издательства в разделе «Авторам»!

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

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc или *.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- 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 авторами**; рефератом объемом не менее 100 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. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»[®] был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства
<http://rifsm.ru/page/7/>

или журнала <http://journal-cm.ru/index.php/ru/avtoram>

Where Innovations Thrive



CERAMICS
CHINA
2021

**The 35th Edition of China Int'l Exhibition for
Ceramics Technology, Equipment & Product**

June 22-25, 2021

Area A, Canton Fair Complex, Guangzhou



China Ceramic
Industrial Association



UNIFAIR
EXHIBITION SERVICE

Tel: 0086 – 20 – 8327 6369 / 6389

Facebook: @Ceramics China

Web: www.ceramicschina.com.cn

Email: ceramicschina@unifair.com

Twitter: @ceramics_china

TECNA

27.9.2021 - 1.10.2021

Rimini Exhibition Centre – Italy

tecnargilla.it  

ORGANIZED BY

**ITALIAN
EXHIBITION
GROUP**
Providing the future



IN COLLABORATION WITH



ACIMAC
Association of Italian Manufacturers of
Machinery and Equipment for Ceramics



WITH THE SUPPORT OF



Ministry of Foreign Affairs
and International Cooperation

ITA 
ITALIAN TRADE AGENCY