

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] № 4



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU АПРЕЛЬ 2021 г. (790)



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

www.vceramica.ru



**Вышневолоцкая керамика –
основа долговечности вашего дома**

ПЕРВИЧНАЯ ДРОБИЛКА «ВЕРДЕС» 116-D

МАЯТНИКОВАЯ МЕЛЬНИЦА «ВЕРДЕС» 273

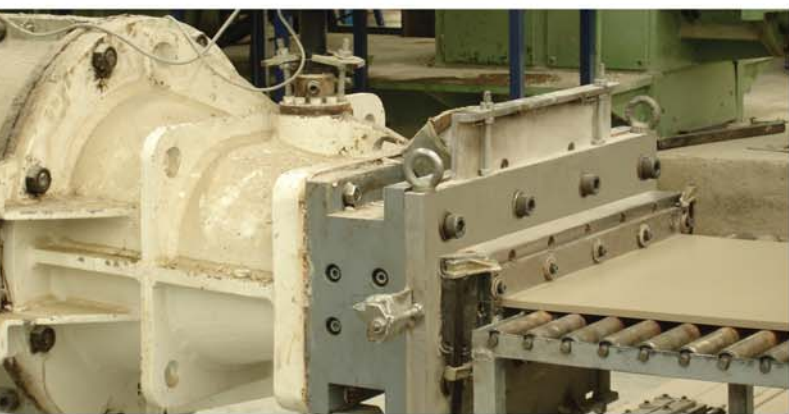
ЭКСТРУДЕР «ВЕРДЕС» «ЭКЗАКТА-375»

СМЕСИТЕЛЬ «ВЕРДЕС» 044-D

2 ПИТАТЕЛЯ «ВЕРДЕС» 026-РС

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

ИЗДЕЛИЯ С ВЫСОКОЙ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТЬЮ



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

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№ 4

Основан в 1955 г. (790) Апрель 2021 г.

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

Керамические строительные материалы

В.А. ГУРЬЕВА, А.А. ИЛЬИНА

Исследование свойств керамического кирпича с никелевыми шлаками методом наименьших квадратов..... 4

Д.В. АКСТ, А.Ю. СТОЛБОВУШКИН

Опытно-промышленные испытания технологии стеновой керамики объемного окрашивания с матричной структурой..... 9

Е.С. ГАЙШУН, Х.С. ЯВРУЯН, И.А. СЕРЕБРЯНАЯ, Е.В. ДЕМЕНТЬЕВА, А.С. ГАЙШУН

Подбор составов керамических масс на основе отсевов переработки терриконов для производства керамических изделий методами математического планирования 16

Плоская экструзия от испанской компании «Тальерес Фелипе Вердес, С.А.» (Информация) 24

В.Ю. КУЗЬМИН

Износ рабочих поверхностей экструдеров в керамической промышленности..... 25

А.В. КОТЛЯР, С.Н. КУРИЛОВА, Р.А. ЯЩЕНКО

Обоснование необходимости обеспечения соответствия нормативных требований для мелкоштучных дорожных изделий 30

Итальянская компания Cosmec (Космек) осуществила поставку системы «Flashing» для кирпичного завода «Вышневолоцкая керамика» (Россия) (Информация)..... 36

Ю.А. БОЖКО, К.А. ЛАПУНОВА

Проблемы регламентации терминологии brick-дизайна и области его применения 37

Я.В. ЛАЗАРЕВА, К.А. ЛАПУНОВА, М.Е. ОРЛОВА

Керамическая черепица из аргиллитов как элемент руф-дизайна в облике современных мегаполисов 42

В.Д. КОТЛЯР, В.В. ПИЩУЛИНА, Ю.В. ПОПОВ, Б.В. ТАЛПА

Микроструктурные изменения в известковых растворах древних кирпичных кладок 47

Материалы и технологии

А.Н. КОРОВНИКОВ

Новые грохоты для промышленности строительных материалов 56

И.В. СУСОЕВА, Т.Н. ВАХНИНА, Ю.Б. ГРУНИН, А.А. ТИТУНИН

Оценка стабильности эксплуатационных показателей теплоизоляционных композитов по результатам натурных стендовых испытаний..... 58

И.К. ДОМАНСКАЯ, Н.И. ФОМИН

Анализ причин возникновения дефектов ПВХ мембраны, вызвавших протечки мягкой кровли..... 67

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

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

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROITEL'NYE MATERIALY®

№ 4

Founded in 1955 (790) April 2021

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

Ceramic building materials

V.A. GURYEVA, A.A. ILYINA

Investigation of The Properties of Ceramic Bricks with Nickel Slags by the Least Squares Method 4

D.V. AKST, A.Yu. STOLBOUSHKIN

Experimental-Industrial Tests of Wall Ceramics Technology of Volume Staining with a Matrix Structure 9

E.S. GAISHUN, K.S. YAVRUYAN, I.A. SEREBRYANAYA, E.V. DEMENTIEVA, A.S. GAISHUN

Selection of Compositions of Ceramic Masses on the Basis of Screenings Processing of Waste Materials for The Production Ceramic Using Mathematical Planning Methods 16

Flat Extrusion by Spanish Company Talleres Felipe Verdes, S.A. (Information) 24

V.Yu. KUZMIN

Wear of the Working Surfaces of Extruders in the Ceramic Industry 25

A.V. KOTLYAR, S.N. KURILOVA, R.A. YASHENKO

Justification of the Need to Ensure Compliance of Regulatory Requirements for Small-Piece Road Products 30

The Italian Company Cosmec Has Delivered the "Flashing" System

for the Brick Factory "Vyshnevolotskaya Keramika" (Russia) (Information) 36

Yu.A. BOZHKO, K.A. LAPUNOVA

Methodology for Determining the Brick Design and the Possibility of its Application in Construction and Architecture 37

Ya.V. LAZAREVA, K.A. LAPUNOVA, M.E. ORLOVA

Ceramic Tiles Made of Mudstones as an Element of Roof-Design in the Appearance of Modern Megacities 42

V.D. KOTLYAR, V.V. PISHCHULINA, Yu.V. POPOV, B.V. TALPA

Microstructural Changes in Lime Mortars of Ancient Brick Masonries 47

Materials and technologies

A.N. KOROVNIKOV

New Screens For the Construction Materials Industry 56

I.V. SUSOEVA, T.N. VAKHNINA, Yu.B. GRUNIN, A.A. TITUNIN

Estimation of Stability of Operational Indicators Thermal Insulating Composites on the Results of Local Stand Tests 58

I.K. DOMANSKAYA, N.I. FOMIN

Analysis of the Causes of PVC Membrane Defects that Caused Soft Roof Leaks 67

The authors of published materials are responsible for the accuracy of the submitted information, the accuracy of the data from the cited literature and for using in articles data which are not open to the public. The Editorial Staff can publish the articles as a matter for discussion, not sharing the point of view of the author. Reprinting and reproduction of articles, promotional and illustrative materials are possible only with the written permission of the editor-in-chief. The Editorial Staff is not responsible for the content of advertisements and announcements.

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)

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)

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)

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)

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)

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

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

Исследование свойств керамического кирпича с никелевыми шлаками методом наименьших квадратов

Приведены результаты исследований разработки производства керамического кирпича из легкоплавкой высокопластичной глины с добавлением никелевых шлаков методом пластического формования. Произведена оценка зависимости критериальных показателей – физико-механических свойств кирпича (водопоглощение, плотность и прочность при сжатии) от технологических факторов: температуры обжига (900–1100°C) и содержания шлака в шихте (5–60%). Методом наименьших квадратов установлены коэффициенты множественной детерминации. Анализ полученных уравнений регрессии доказывает обоснованность выбранных факторов как наиболее влияющих на изменение физико-механических свойств изделий. Для таких показателей, как водопоглощение, плотность и прочность при сжатии керамического кирпича, построены графически регрессионные зависимости. Также выполнена оценка адекватности моделей регрессии. Для уравнения регрессии по водопоглощению средняя ошибка аппроксимации составляет 5%, по плотности – 2%, по прочности при сжатии – 8%, что свидетельствует о высокой точности построенных моделей. По полученным данным с учетом требований ГОСТ 530–2012 выбраны два наиболее оптимальных состава керамических масс, на основе которых отформованы образцы керамического кирпича с добавлением никелевого шлака. После обжига изделия характеризовались прочностью при сжатии, соответствующей маркам М175 и М200.

Ключевые слова: метод наименьших квадратов, легкоплавкие глины, шлаки, уравнение регрессии, физико-механические свойства, техногенные отходы.

Для цитирования: Гурьева В.А., Ильина А.А. Исследование свойств керамического кирпича с никелевыми шлаками методом наименьших квадратов // *Строительные материалы*. 2021. № 4. С. 4–8. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-4-8>

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

Investigation of The Properties of Ceramic Bricks with Nickel Slags by the Least Squares Method

The results of research on the development of the production of ceramic bricks from low-melting high-plastic clay with the addition of nickel slags by plastic molding are presented. An assessment was made of the dependence of criterion indicators – physical and mechanical properties of bricks (water absorption, density and compressive strength) on technological factors: firing temperature (900–1100°C) and slag content in the charge (5–60%). The coefficients of multiple determination are established by the least squares method. The analysis of the obtained regression equations proves the validity of the selected factors, as the most influencing on the change in the physical and mechanical properties of products. For such indicators as water absorption, density and compressive strength of ceramic bricks, regression dependences are plotted. The adequacy of the regression models was also assessed. For the regression equation for water absorption, the average approximation error is 5%, for density – 2%, for compressive strength – 8%, which indicates the high accuracy of the constructed models. Based on the data obtained, taking into account the requirements of GOST 530–2012, two most optimal compositions of ceramic masses were selected, on the basis of which samples of ceramic bricks with the addition of nickel slag were molded. After firing, the products were characterized by compressive strength corresponding to the M175 and M200 grades.

Keywords: least squares method, low-melting clays, slags, regression equation, physical and mechanical properties, technogenic waste.

For citation: Gurieva V.A., Ilyina A.A. Investigation of the properties of ceramic bricks with nickel slags by the least squares method. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 4, pp. 4–8. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-4-8>

Производство керамического кирпича с добавлением отходов различных отраслей промышленности постоянно растет. В шихту добавляют сталеплавильные шлаки [1], шламы различного происхождения [2–4], железосодержащие отходы [5], феррохромовые шлаки [6] и др. Разработка составов керамических масс с добавлением отходов позволяет решить комплекс важных проблем: снизить разработку недр с целью добычи глинистого сырья, освободить земли, занятые отвалами отходов, а также снизить стоимость конечной продукции и улучшить экологическую ситуацию регионов. Однако исследований по производству керамического кирпича с добавлением никелевых шлаков недостаточно. Ежегодно промышленные предприятия производят огромное количество этого вида отходов, значительная часть ко-

торых не используется – складывается в отвалах, хранилищах и отстойниках. Известны исследования авторов [7, 8] по производству облицовочной керамической плитки с добавлением никелевых шлаков, однако в производстве керамического кирпича никелевые шлаки широкого применения не имеют и исследования в этом направлении практически не выполнялись.

Для проведения эксперимента была выбрана легкоплавкая глина Халиловского месторождения Оренбургской области и шлак никелевого производства Южно-Уральского никелевого комбината. В качестве глинистого сырья используется легкоплавкая глина с числом пластичности 25 и следующим химическим составом, мас. %: SiO₂ – 49,5; Al₂O₃ – 20,79; Fe₂O₃общ – 7,04; MgO – 2,75; CaO – 2,71; K₂O – 1,74;

TiO₂ – 1,07; Na₂O – 0,53; MnO – 0,086; P₂O₅ – 0,26; S_{общ} – 0,056; ППП – 13,468. Используемый в качестве добавки шлак никелевого производства характеризуется следующим химическим составом, мас. %: SiO₂ – 48,79; CaO – 18,36; MgO – 13,15; Fe₂O_{3общ} – 11,28; Al₂O₃ – 5,9; MnO – 0,334; K₂O – 0,25; TiO₂ – 0,24; P₂O₅ – 0,24; Na₂O – 0,21; S_{общ} – 0,186; ППП – 1,06.

Физико-механические свойства керамического кирпича, такие как прочность, плотность, водопоглощение, морозостойкость и др., являются одними из главных критериев оценки качества готовой продукции и зависят от состава, структуры материала. Они определяют продолжительность эксплуатации кирпича, характеризуя поведение изделий под действием физических факторов (высокой и низкой температуры, нагрузки, воды и др.) Наряду с физико-механическими свойствами также оцениваются декоративные свойства. В табл. 1 представлены некоторые характеристики рядового полнотелого и лицевого керамического кирпича, модифицированного техногенными минеральными системами [9, 10].

Однако при планировании исследований необходимо учитывать, что на физико-механические свойства кирпича влияет, как правило, несколько факторов. Поэтому возникает задача изучить зависимость свойств кирпича от комплекса выбранных факторов. В связи с этим на первом этапе изучена результативность выбранного признака Y от нескольких независимых между собой переменных факторов X. Авторами в качестве критериальных признаков вы-

браны: водопоглощение, плотность, прочность при сжатии. За основные факторы приняты: X₁ – содержание никелевого шлака в шихте (5–40%) и X₂ – температура обжига (900–1100°C). Задача решалась применением множественного регрессионного анализа. Для данного эксперимента уравнение линейной регрессии будет иметь вид:

$$\tilde{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2, \quad (1)$$

где \tilde{Y} – теоретические значения физико-механического параметра (водопоглощение, прочность или плотность); b₀, b₁, b₂ – коэффициенты уравнения регрессии; X₁ – содержание шлака в шихте, %; X₂ – температура обжига, °C.

Для определения коэффициентов регрессии b₀, b₁, b₂ использован метод наименьших квадратов (далее – МНК) [11, 12]. В ходе проведения эксперимента было испытано 36 образцов в форме кубиков, отформованных методом пластического формования, представленных на рис. 1.

Обработка полученных в результате эксперимента данных выполнена с помощью программы MS Excel, на основании чего составлены три уравнения регрессии. Уравнение регрессии для водопоглощения представлено формулой (2):

$$W = 65,8 + 0,095X_1 - 0,053X_2. \quad (2)$$

Анализ коэффициентов в уравнении регрессии позволил сделать следующие выводы:

1) коэффициент при X₁ показывает, что при фиксированном значении остальных факторов увеличе-

Таблица 1
Table 1

Характеристики рядового полнотелого и лицевого керамического кирпича, модифицированного техногенными минеральными системами
Characteristics of ordinary solid and facing ceramic bricks modified by man-made mineral systems

Разновидность кирпича	Средняя плотность, г/см ³	Пористость, %	Водопоглощение, %	Марка по прочности	Марка по морозостойкости
Рядовой полнотелый	1,6–1,9	8	12–14	M75–M300	F15–F 50
Лицевой	1,3–1,45	6–14	8–10	M75–M350	F25–F 75

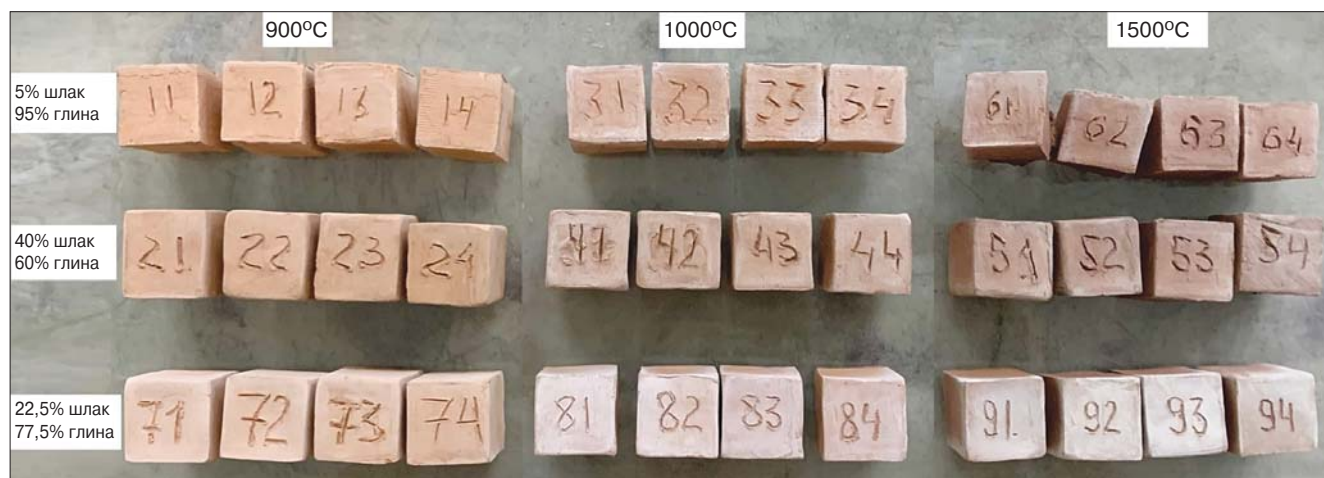


Рис. 1. Образцы, обожженные при температуре 900, 1000 и 1100°C, с добавкой никелевого шлака 5, 22,5, 40%
Fig. 1. Samples fired at temperature of 900, 1000 and 1100°C, with the addition of nickel slag 5, 22.5, 40%

ние концентрации шлака на 1% обуславливает рост водопоглощения на 0,095%;

2) коэффициент при X_2 показывает, что с увеличением температуры на 1°C водопоглощение снижается на 0,053%;

3) коэффициент множественной детерминации $R^2_{YX_1X_2}=0,96$ показывает, что 96% значений водопоглощения (\tilde{Y}) обусловлено именно выбранными факторами – температурой обжига (X_1) и содержанием шлака (X_2);

4) влияние неучтенных в уравнении факторов составляет всего 4%, к ним можно отнести, например, условия сушки и др.

Оценка адекватности модели регрессии проведена определением средней ошибки аппроксимации по формуле:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{Y - \tilde{Y}_i}{Y} \right| \cdot 100\%, \quad (3)$$

где \tilde{Y}_i – теоретические значения результирующего признака; Y – фактические значения результирующего признака; n – количество проведенных экспериментов.

Для данного уравнения регрессии фактические значения переменной отличаются от теоретических значений на 5%. Следовательно, построенная модель имеет высокую точность.

Уравнение регрессии для плотности представлено формулой (4):

$$\rho = 1,278 - 0,000627X_1 + 0,000632X_2. \quad (4)$$

После проведения анализа уравнения регрессии сделаны следующие выводы:

1) коэффициент регрессии при X_1 показывает, что при фиксированном значении остальных факторов с увеличением концентрации шлака на 1% плотность уменьшится на 0,000627%;

2) X_2 показывает, что с увеличением температуры на 1°C плотность увеличится на 0,000632%;

3) коэффициент множественной детерминации $R^2_{YX_1X_2}=0,93$ показывает, что 93% значений плотности (\tilde{Y}) обусловлено именно выбранными факторами;

4) влияние неучтенных факторов – 7%.

Оценка адекватности модели регрессии проведена по формуле (3). Для данного уравнения регрессии фактические значения переменной отличаются от теоретических значений на 2%, следовательно, построенная модель имеет высокую точность.

Уравнение регрессии для показателя прочности при сжатии представлено формулой (5):

$$R_s = -360,7 - 3,815X_1 + 0,0849X_2. \quad (5)$$

После проведения анализа уравнения регрессии сделаны следующие выводы:

1) коэффициент регрессии при X_1 при фиксированном значении остальных факторов показывает, что с увеличением концентрации шлака на 1% прочность снижается на 3,815%;

2) коэффициент регрессии при X_2 показывает, что с увеличением температуры на 1°C плотность увеличится на 0,0849%.

Таблица 2
Table 2

Составы предлагаемых керамических масс
Compositions of the proposed ceramic mixes

Компонент	Предлагаемая керамическая масса	
	1	2
Глина, мас. %	75	45
Никелевый шлак, мас. %	25	55
Температура обжига	1000	1050

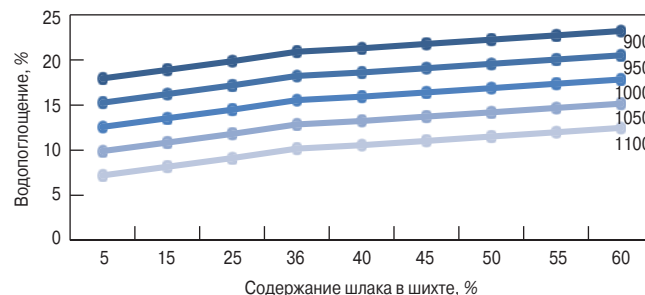


Рис. 2. Изменение водопоглощения керамического кирпича опытного состава в зависимости от содержания шлака в шихте и температуры обжига

Fig. 2. Change in water absorption of ceramic bricks of the experimental composition depending on the slag content in the charge and the firing temperature

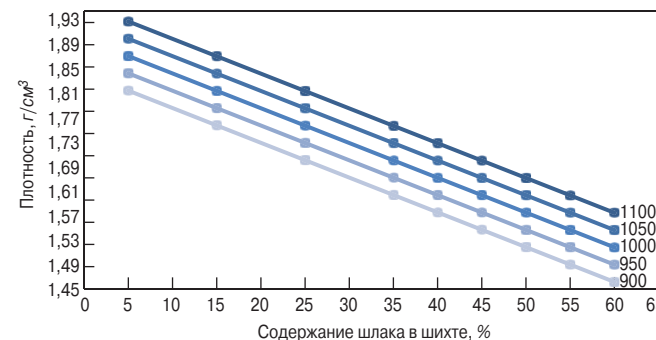


Рис. 3. Изменение плотности керамического кирпича опытного состава в зависимости от содержания шлака в шихте и температуры обжига

Fig. 3. Change in the density of the ceramic bricks of the experimental composition depending on the slag content in the charge and the firing temperature

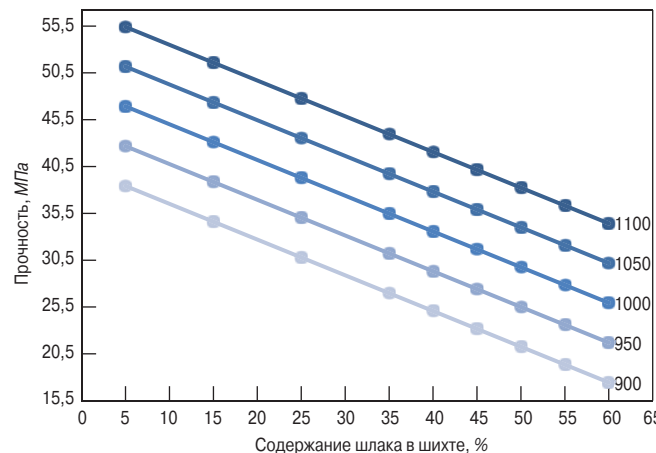


Рис. 4. Изменение прочности при сжатии керамического кирпича опытного состава в зависимости от содержания шлака в шихте и температуры обжига

Fig. 4. The change in the compressive strength of the ceramic bricks of the experimental composition depending on the slag content in the charge and the firing temperature

Таблица 3
Table 3

Физико-механические и декоративные свойства кирпича из предлагаемых керамических масс
Physicomechanical and decorative properties of bricks from the offered ceramic masses

Показатели	Значения для составов	
	1	2
Предел прочности при сжатии, МПа (для образцов 20×20×20 см)	36,5	30,1
Предел прочности при сжатии, МПа (для образцов 250×120×65 мм)	22 (M200)	18 (M175)
Плотность, г/см ³	1,7	1,6
Водопоглощение, %	14	13,9
Цвет камня	Красно-коричневый	Медно-коричневый

3) коэффициент множественной детерминации $R^2_{YX_1X_2}=0,92$ показывает, что 92% значений прочности (\bar{Y}) обусловлено именно выбранными факторами;

4) влияние неучтенных факторов – 8%.

Для данного уравнения регрессии (3) фактические значения переменной отличаются от теоретиче-

ских значений на 8,5%, значит, построенная модель адекватна и имеет высокую точность.

По полученным уравнениям регрессии построены графики для водопоглощения, плотности и прочности при сжатии (рис. 2–4).

По полученным данным выбраны два состава масс, наиболее оптимальных для производства керамического кирпича (табл. 2).

Для массы 1 за критерий оптимальности выбрана минимальная температура обжига, которая обеспечивает требуемый технологический интервал для водопоглощения и плотности, прочность, соответствующую марке, указанной в табл. 1. Для массы 2 за критерий оптимальности выбрано максимально возможное содержание шлака в шихте, которое обеспечивает получение изделия, удовлетворяющего нормативным требованиям (табл. 3).

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что композиция легкоплавкой глины со шлаком никелевого производства полученного рационального состава обеспечивает производство керамического кирпича марок M175, M200, что соответствует требованиям ГОСТ 530–2012. Дальнейшие исследования будут направлены на повышение экономической эффективности технологии изделий стеновой керамики с применением никелевого шлака.

Список литературы

1. Зубехин А.П., Довженко И.Г. Повышение качества керамического кирпича с применением основных сталеплавильных шлаков // *Строительные материалы*. 2011. № 4. С. 57–59.
2. Гурьева В.А., Дорошин А.В., Вдовин К.М., Андреева Ю.Е. Пористая керамика на основе легкоплавких глин и шламов // *Строительные материалы*. 2017. № 4. С. 31–37.
3. Дубинетский В.В., Гурьева В.А., Вдовин К.М. Буровой шлам в качестве добавки в керамический кирпич // *Молодой ученый*. 2015. № 11.1 (91.1). С. 137–139.
4. Romsey D.E., R.F. Davis Fabrication of ceramic articles from mining waste materials // *American Ceramic Society Bulletin*. 1975. Vol. 54. Iss. 3, pp. 312–313.
5. Платонов А.П., Гречаников А.В., Ковчур А.С., Ковчур С.Г., Манак П.И. Изготовление керамического кирпича с использованием промышленного отходов // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. 2015. № 1 (28). С. 128–134.
6. Osman G., Sutcu M., Erdogmus E., Koc V., Cay V., Gok M. Properties of bricks with waste ferrochromium slag and zeolite // *Journal of Cleaner Production*. 2014. Vol. 59, pp. 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.055>
7. Патент РФ № 606841 Сырьевая смесь для изготовления строительных изделий / Л.В. Королева, Л.В. Кулик, В.И. Якубов. 1978. Бюл. № 18.

References

1. Zubekhin A.P., Dovzhenko I.G. Improving the quality of ceramic bricks with the use of basic steelmaking slags. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 4, pp. 57–59. (In Russian).
2. Gur'eva V.A., Doroshin A.V., Vdovin K.M., Andreeva Yu.E. Porous ceramics on the basis of low-melting clays and slurries. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 4, pp. 32–36. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-747-4-32-36>.
3. Dubinetsky V.V., Guryeva V.A., Vdovin K.M. Drilling mud as an additive in ceramic bricks. *Molodoi uchenyi*. 2015. Vol. 11.1 (91.1), pp. 137–139. (In Russian).
4. Romsey D.E., R.F. Davis Fabrication of ceramic articles from mining waste materials. *American Ceramic Society Bulletin*. 1975. Vol. 54. Iss. 3, pp. 312–313.
5. Platonov A.P., Grechanikov A.V., Kovchur A.S., Kovchur S.G., Manak P.I. Making ceramic bricks using industrial waste. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2015. Vol. 1 (28), pp. 128–134. (In Russian).
6. Osman G., Sutcu M., Erdogmus E., Koc V., Cay V., Gok M. Properties of bricks with waste ferrochromium slag and zeolite. *Journal of Cleaner Production*. 2014. Vol. 59, pp. 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.055>
7. Patent RF No. 606841 Syr'evaya smes' dlya izgotovleniya stroitel'nykh izdelii [Raw material mixture for the manufacture of construction products].

8. Патент РФ № 2358947 Сырьевая смесь для изготовления облицовочной плитки / Ю.А. Щепочкина. 2009. Бюл. № 17.
9. Деревянко В.Н., Гришко А.Н., Вечер Ю.Н. Структура и свойства керамического кирпича, модифицированного техногенными минеральными системами // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. No. 7 (220), pp. 21–28.
10. Salimi M., Ali G. Mechanical and compressibility characteristics of a soft clay stabilized by slag-based mixtures and geopolymers // *Applied Clay Science*. 2020. Vol. 184. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105390>
11. Овчинников А.В., Красночуб Е.К., Бронштейн В.М. Обработка экспериментальных данных методом наименьших квадратов // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва*. 2009. № 3–1. С. 178–187.
12. Мусатов М.В., Львов А.А. Анализ моделей метода наименьших квадратов и методов получения оценок // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2009. № 2 (43). С. 137–140.
- Koroleva L.V., Kulik L.V., Yakubov V.I. 1978. Bulletin. 18. (In Russian).
8. Patent RF No. 2358947 *Syr'evaya smes' dlya izgotovleniya oblitsovochnoi plitki* [Raw material mixture for the manufacture of facing tiles]. Shchepochkina Yu.A. 2009. Bulletin. 17. (In Russian).
9. Derevyanko V.N., Grishko A.N., Vecher Yu.N. Structure and properties of ceramic bricks modified by technogenic mineral systems. *Visnik Pridniprovs'koi derzhavnoi akademii budivnitstva ta arkhitekturi*. 2016. Vol. 7 (220), pp. 21–28. (In Russian).
10. Salimi M., Ali G. Mechanical and compressibility characteristics of a soft clay stabilized by slag-based mixtures and geopolymers. *Applied Clay Science*. 2020. Vol. 184. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105390>
11. Ovchinnikov A.V., Krasnochub E.K., Bronstein V.M. Processing of experimental data by the least squares method. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroleva*. 2009. No. 3–1, pp. 178–187. (In Russian).
12. Musatov M.V., Lviv A.A. Analysis of models of the least squares method and methods for obtaining estimates. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2009. No. 2 (43), pp. 137–140. (In Russian).

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ
МИНСК
19–20 мая
2021



ЯЧЕИСТЫЙ БЕТОН

11^я в онлайн-режиме
Международная научно-практическая конференция

ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ

К обсуждению приглашаем специалистов-практиков, представителей научно-исследовательских, проектных, строительных организаций, производителей оборудования, расходных материалов, программных продуктов, поставщиков сырьевых материалов.

Срок подачи докладов, статей и рекламных модулей в Сборник материалов конференции – 12 мая 2021 г.
Заполненную заявку присылайте в оргкомитет до 14 мая 2021 г. по эл. почте: info@architec.by.

Информация об условиях участия и плане проведения конференции размещена на сайте организаторов www.architec.by.



ПРИГЛАШАЕМ К УЧАСТИЮ!

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ
220034, г. Минск, ул. Чапаева, 3, пом. 4/3
Тел. (+375 17) 336 00 46, (+375 29) 632 55 98, 336 09 62
E-mail: info@architec.by
www.architec.by

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ:
Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, ГП «Институт НИИСМ», РУП «Институт БелНИИС», ГП «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.», проектное предприятие «ТНКА-Архитек» (Беларусь).

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР И ТЕХНИЧЕСКОЕ КОНСУЛЬТИРОВАНИЕ – «MASA GmbH» (Германия).

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ:



Д.В. АКСТ, инженер (daniel_axt@mail.ru), А.Ю. СТОЛБОУШКИН, д-р техн. наук (stanyr@list.ru)

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

Опытно-промышленные испытания технологии стеновой керамики объемного окрашивания с матричной структурой

Показана необходимость тщательного перемешивания компонентов керамической шихты, обеспечивающего окрашивание стеновой керамики без пятен и разводов. Рассмотрены основные причины доминирования технологии пластического формования керамического кирпича на современном этапе. Обоснованы перспективы полусухого прессования изделий при использовании тощих пылеватых суглинков, отходов и попутных продуктов промышленного производства в технологии керамического кирпича объемного окрашивания. Приведена краткая характеристика сырьевых материалов керамических шихт для заводских испытаний. В качестве основы использовались среднепластичная глина и шламистые железорудные отходы, для окрашивания – марганец- и ванадийсодержащие техногенные добавки. Описаны процессы гранулирования пресс-порошков по запатентованной технологии и получения стеновой керамики на действующем кирпичном заводе полусухого прессования. Приведены результаты исследования декоративных и физико-механических свойств обожженного кирпича в зависимости от состава шихты. Установлены соответствие полученного керамического кирпича требованиям ГОСТ 530–2012 для марок М150–200 и его объемное окрашивание в коричневый и темно-серый цвета. Дана оценка радиационной безопасности объемно-окрашенных керамических материалов по величине суммарной удельной эффективной активности естественных радионуклидов. По результатам опытно-промышленной апробации в заводских условиях обоснована эффективность разработанной технологии стеновой керамики объемного окрашивания с матричной структурой. Представлена разработанная технологическая схема керамического кирпича из глины и марганцевого концентрата. Приведены основные этапы полного цикла получения керамических изделий согласно технологическому регламенту на проектирование производства объемно-окрашенного керамического кирпича с матричной структурой.

Ключевые слова: опытно-промышленная апробация, объемное окрашивание стеновой керамики, полусухое прессование, матричная структура, марганцевый концентрат, ванадиевый шлак, технологическая схема.

Для цитирования: Акст Д.В., Столбоушкин А.Ю. Опытно-промышленные испытания технологии стеновой керамики объемного окрашивания с матричной структурой // *Строительные материалы*. 2021. № 4. С. 9–15.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-9-15>

D.V. AKST, Engineer (daniel_axt@mail.ru), A.Yu. STOLBOUSHKIN, Doctor of Sciences (Engineering) (stanyr@list.ru)
Siberian State Industrial University (42, Kirova Street, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation)

Experimental-Industrial Tests of Wall Ceramics Technology of Volume Staining with a Matrix Structure

The necessity of thorough mixing of the ceramic mixture components, which ensures the staining of wall ceramics without stains and color streaks, is shown. The main reasons for the dominance of the plastic molding technology of ceramic bricks at the present stage are considered. Prospects for semi-dry pressing of ceramic products with the use of lean silty loams, waste and by-products of industrial production in the technology of volume staining ceramic bricks are substantiated. A brief description of raw materials for ceramic mixture obtaining for the factory tests is given. Medium plastic clay, slime iron ore wastes were used as the basis, manganese and vanadium-containing technogenic additives were used as dyes. The processes of press powders granulation according to the patented technology and production of wall ceramics at working brick factory of semi-dry pressing are described. The results of the study of decorative and physical and mechanical properties of fired bricks, depending on the composition of the ceramic charge, are presented. The compliance of the obtained ceramic brick with the requirements of State Standard 530–2012 for grades M150–200 and its volume staining in brown and dark gray has been established. An assessment of the radiation safety of volume-stained ceramic materials is given according to the value of the total specific effective activity of natural radionuclides. An assessment of the effectiveness of the developed technology of volume-stained wall ceramics with a matrix structure, based on the results of the experimental-industrial testing in the factory, is given. The developed flow sheet of ceramic bricks production from clay and technogenic manganese concentrate is presented. The main stages of the full cycle of obtaining ceramic products in accordance with the process regulations for the design of the production of volume-stained ceramic bricks with a matrix structure are given.

Keywords: experimental-industrial approbation, volume staining of wall ceramics, semi-dry pressing, matrix structure, manganese concentrate, vanadium slag, flow sheet.

For citation: Akst D.V., Stolboushkin A.Yu. Experimental-industrial tests of wall ceramics technology of volume staining with a matrix structure. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 4, pp. 9–15. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-9-15>

Одним из факторов, играющих важную роль при выборе способа изготовления керамического кирпича объемного окрашивания, является возможность в рамках технологии как можно более равномерно распределить красящую добавку по объему шихты [1]. Зачастую именно ненадлежащее перемешивание базового и красящего компонентов керамического порошка и, как следствие, локальная избыточная или недостаточная концентрация пигмен-

та в пресс-массе являются причиной возникновения неоднородной окраски материала, появления пятен, налета и разводов [2, 3].

Мировой опыт работы кирпичных заводов за последние полвека демонстрирует сравнительно лучшие показатели объемного окрашивания при использовании технологии пластического формования кирпича [4, 5]. К примеру, для тщательного смешения компонентов и гомогенизации шихтовой смеси

при полусухом прессовании изделий возникает необходимость использования дополнительных дозаторов, истирателей и лопастных мешалок [6], что существенно влияет на себестоимость производства [7]. Кроме того, ряд недостатков полусухой технологии прессования, таких как неравномерное распределение и снижение плотности сырца, вызываемых неточной дозировкой пресс-порошка, особенности «точного» механизма спекания, ухудшающие показатели прочности и морозостойкости кирпича [8], а также дефицит отечественного высокопроизводительного прессового оборудования в конечном итоге и обуславливают технологический выбор производственников. В этой связи подавляющее большинство промышленных предприятий стройиндустрии, выпускающих керамический кирпич нестандартной окраски, использует именно пластический способ [9, 10]. При этом зачастую для работы с зарубежными концентрированными красками и обеспечения наилучших характеристик керамических изделий заводские линии полностью комплектуются готовым автоматизированным оборудованием иностранных фирм HÄNDLE GmbH, Hans Lang Anlagenbau und Verfahrenstechnik GmbH & Co. KG, Marcheluzzo Impianti SRL Unipersonale и др. [11].

В условиях беспрецедентного санкционного давления Запада необходимо ликвидировать информационную и технико-технологическую зависимость России во всех сферах деятельности. Установившийся в последнее десятилетие курс на диверсификацию производства, расширение сырьевой базы и экологическую безопасность предъясвляет новые векторы развития и в области строительной индустрии. В производстве строительной керамики – это прежде всего компенсация повсеместного сокращения запасов качественных глин за счет применения тощих пылеватых суглинков, техногенных отходов и попутных продуктов. При работе с таким сырьем технология пластического формования, как правило, малоприменима [12]. Более перспективной в этом случае, безусловно, является компрессия маловлажных порошковых систем, что по-прежнему подтверждает актуальность использования технологии полусухого прессования керамических изделий.

Ранее авторами была разработана модель формирования стеновой керамики объемного окрашивания с матричной структурой [13], которая обеспечивает усиление окраски керамического композита за счет концентрации пигмента в оболочке вокруг гранул даже при малых содержаниях красящих оксидов, что позволяет использовать добавки с пониженным содержанием хромофоров. Реализация данной модели на практике предполагает формирование рациональной структуры композиционного материала, состоящей из системы ядер, объединенных единым каркасом-матрицей. Для этого обязательным является грануляция базового компонента шихты, нанесение на поверхность образованных гранул оболочки на основе красящего компонента и последую-

щее полусухое прессование сырца из загранулированного порошка.

В работе [14] авторами также предложен метод математического расчета состава гранулированных керамических шихт, позволяющий количественно определить оптимальное соотношение сырьевых компонентов для получения стеновой керамики объемного окрашивания с требуемыми декоративными и физико-механическими свойствами. Для подтверждения результатов теоретических и лабораторных исследований необходима опытная апробация разработанной модели формирования стенового материала и метода расчета состава гранулированных шихт в реальных заводских условиях.

Цель исследования

Провести опытно-промышленную апробацию технологии стеновой керамики объемного окрашивания с матричной структурой на основе природного и техногенного сырья.

Объекты исследования

При проведении опытно-промышленных испытаний разработанных технологий керамического кирпича объемного окрашивания использовалось местное природное сырье и побочные продукты от металлургического производства. В качестве базовых компонентов для формирования гранул применялись низкодисперсная, красножгущаяся, среднепластичная глина с высоким содержанием красящих оксидов, широко распространенная в Сибирском регионе, и шламистая часть отходов обогащения железных руд ОАО «Евразруда». В роли красящих компонентов керамических шихт были выбраны два вида техногенных добавок. Первая – попутная продукция производства ферросиликомарганца ООО «Западно-Сибирский электрометаллургический завод» (марганцевый концентрат МК-30) с общим содержанием оксидов марганца около 30 мас. %. Вторая – ванадиевый конвертерный шлак АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат» с суммарным содержанием $Fe_2O_3 + TiO_2$ порядка 30% и V_2O_5 более 22–24%. Данные исследований гранулометрического, химического, минералогического составов и технологических свойств отобранных сырьевых материалов представлены в работах [13, 14].

Результаты и обсуждение

Опытно-промышленная апробация разработанной технологии стеновой керамики объемного окрашивания с матричной структурой проводилась осенью 2020 г. в условиях единственного постоянно действующего на территории Сибирского федерального округа завода полусухого прессования ООО «Бердский кирпичный завод» (рис. 1). Кирпич производится на предприятии более четверти века практически без изменения технологии. «Классика» полусухого формования изделий включает: обогаще-

ние глинистой породы с выделением каменистых включений на валковых дробилках; сушку сырья до формовочной влажности в противоточном барабане; помол глины в стержневом смесителе; пресование изделий на прессах типа СМ-1085Б, обеспечивающих их двухстороннее сжатие; сушку с обжигом отформованного кирпича в туннельной печи.

В ходе опытных испытаний использовалось глинистое сырье, прошедшее заводскую массоподготовку по сушильно-помольной технологии. Отобранные пробы шламистых железорудных отходов и марганцевого концентрата предварительно высушивались до остаточной влажности 1–2%; ванадиевый шлак подвергался двухстадийному измельчению, включая разрушение крупнокускового материала в щековой дробилке и последующий тонкий помол в стержневой мельнице до фракции 60–100 мкм.

Апробация проводилась в два этапа. Вначале на базе лабораторного комплекса строительных материалов ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» были наработаны гранулированные пресс-порошки двух составов (табл. 1). Подготовка шихт проводилась по запатентованным способам [15, 16].

Для получения гранул преимущественного размера 1–3 мм базовый сырьевой компонент засыпался в чашу турболопастного смесителя-гранулятора периодического действия и агрегировался при одновременном увлажнении капиллярным распылением воды. После завершения процесса гранулообразования в чашу подавалась тонкомолотая красящая добавка для формирования окрашивающей оболочки по поверхности гранул. При этом в качестве добавки для трехкомпонентной шихты использовалась смесь

Таблица 1
Table 1

Составы пресс-порошков
Compositions of press powders

Состав	Компонент	Количество, мас. %
Шихта с марганецсодержащей техногенной добавкой	Глина	93
	Марганцевый концентрат	7
Шихта с ванадийсодержащей техногенной добавкой	Шламистые железорудные отходы	75
	Глина	22
	Ванадиевый шлак	3



Рис. 1. Бердский кирпичный завод: а – полусухое пресование кирпича; б – высушенный сырец; с – паллеты с керамическим кирпичом

Fig. 1. Berdsk brick factory: a – semi-dry pressing of bricks; b – dried adobe bricks; c – pallets with ceramic bricks

глины и ванадиевого шлака. Фактическая влажность опудренного гранулята составила 10,9–12,4%. Для транспортировки на завод без потерь влажности пресс-порошки в количестве 2,4 т упаковывались в прочные и герметичные мешки с полиэтиленовыми вкладышами.

На заводе из подготовленных порошков была выпущена опытно-промышленная партия керамического кирпича объемного окрашивания с матричной структурой. Для этого на прессах СМ-1085Б при средних показаниях амперметра 80 А были отпрессованы сырцовые изделия в количестве 530 шт. Сушка

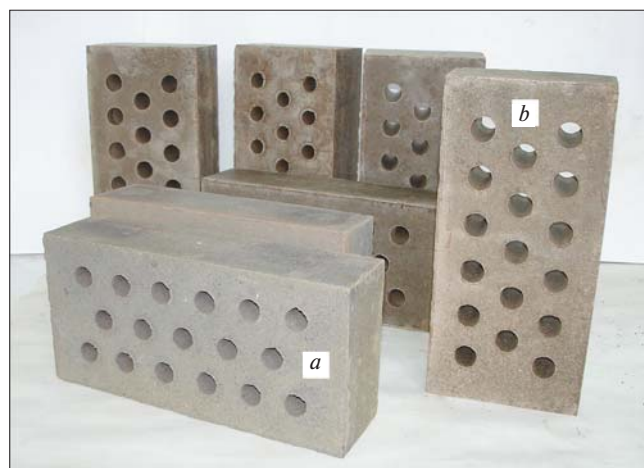


Рис. 2. Керамический кирпич объемного окрашивания с матричной структурой на основе: а – шламистых отходов обогащения железных руд, глины и ванадиевого шлака АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат»; б – глины и марганцевого концентрата ООО «Западно-Сибирский электрометаллургический завод»

Fig. 2. Volume-stained ceramic bricks with a matrix structure based on: a – slime waste of iron ore enrichment, clay and vanadium slag from JSC «EVRAZ NTMK»; b – clay and manganese concentrate from LLC «West Siberian Electrometallurgical Plant»

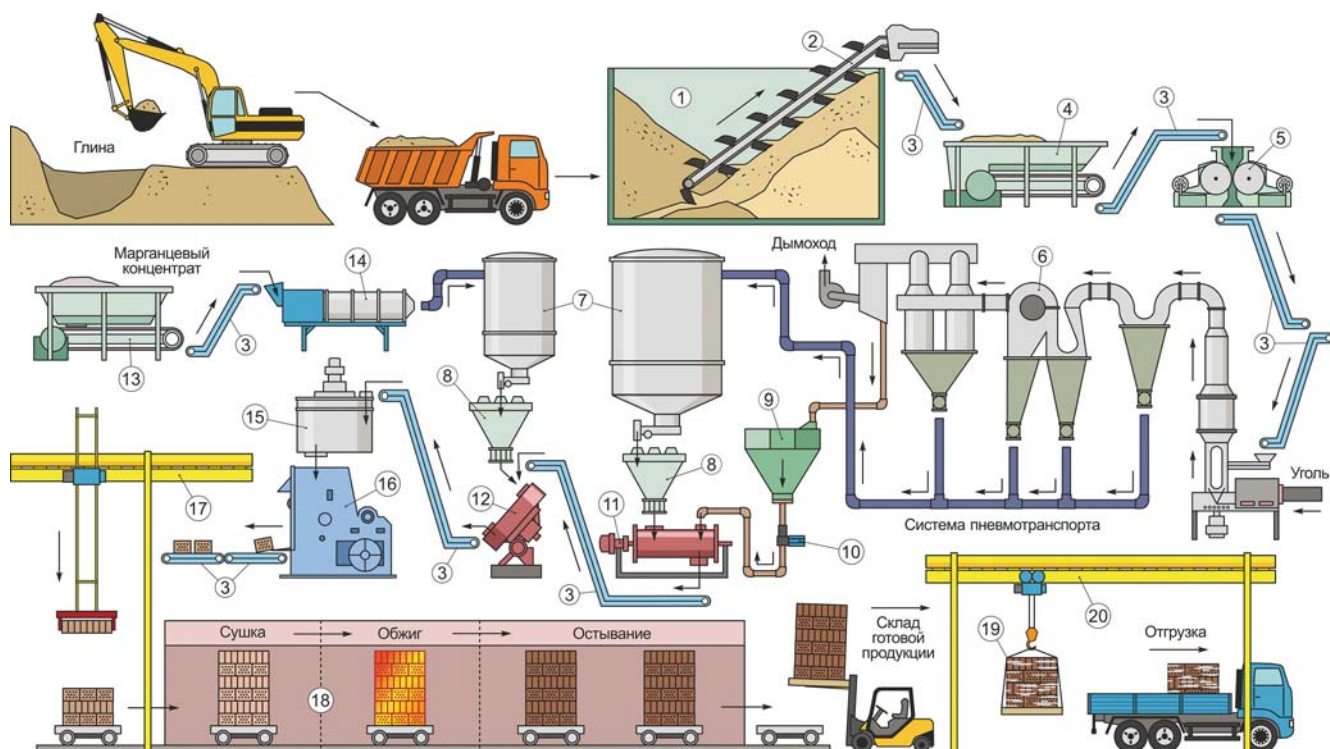


Рис. 3. Технологическая схема производства керамического кирпича объемного окрашивания с матричной структурой из глины и марганцевого концентрата: 1 – глинозапасник; 2 – многоковшовый экскаватор; 3 – ленточный конвейер; 4 – ящичный питатель; 5 – валковая дробилка; 6 – измельчительно-сушильная установка; 7 – силос запаса; 8 – весовой дозатор; 9 – бак-накопитель шликера; 10 – насос-дозатор; 11 – турболопастной смеситель-гранулятор; 12 – тарельчатый гранулятор; 13 – бункер с питателем; 14 – барабанная сушилка; 15 – мешалка-питатель; 16 – пресс; 17 – автомат-садчик; 18 – туннельная печь-сушилка; 19 – пакет кирпича в пленке; 20 – мостовой кран

Fig. 3. Flow sheet of volume-stained ceramic bricks with a matrix structure of clay and manganese concentrate: 1 – clay reserves; 2 – multibucket excavator; 3 – belt conveyor; 4 – box-type feeder; 5 – roll crusher; 6 – grind-drying installation; 7 – silage for raw stock; 8 – weighing batcher; 9 – slip storage tank; 10 – metering pump; 11 – turbofan mixer-granulator; 12 – plate granulator; 13 – hopper with feeder; 14 – drum drier; 15 – mixer-feeder; 16 – press; 17 – automatic palletizer; 18 – tunnel kiln; 19 – package of bricks in a film; 20 – bridge crane

и обжиг кирпича осуществлялись в туннельной печи в соответствии с принятым на заводе технологическим регламентом по 42-часовому режиму при максимальной температуре 1000°C.

Стеновая керамика после обжига имела нормальный внешний вид без видимых дефектов окрашивания, обжиговых трещин, вздутий, искривлений и сколов (рис. 2). По результатам визуальной оценки было отбраковано семь изделий, что составило 1,3% от объема опытной партии. По сравнению с контрольными кирпичами из шихты, состоящей из 100 мас. % глинистого сырья, у образцов с марганцем и ванадийсодержащими техногенными добавками наблюдалось выраженное изменение окраски (рис. 2, а, б). Изделия имели соответственно коричневый и темно-серый цвета в зависимости от состава шихты. В отдельных случаях наблюдалось незначительное изменение оттенка цвета в сторону красных тонов, связанное с местоположением кирпича в садке и возможным восстановлением оксидов железа при обжиге [17].

Определение прочности, средней плотности, водопоглощения и морозостойкости (ГОСТ 7025–91 «Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости») полученных керамических изделий с матричной структурой проводилось в

аккредитованной заводской лаборатории. Для испытаний было отобрано по 25 кирпичей каждого состава. Результаты исследований их физико-механических свойств приведены в табл. 2.

В результате анализа основных свойств стеновой керамики по ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» установлено, что кирпич из глины с марганцевым концентратом в среднем выдерживает максимальные сжимающие и изгибающие напряжения до 15 и 2,1 МПа соответственно. Имея среднюю плотность около 1800 кг/м³, изделия обладают водопоглощением до 12,5% и выдерживают не менее 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Испытания образцов из шламистых железорудных отходов, глины и ванадиевого шлака продемонстрировали лучшие характеристики: прочность при сжатии и изгибе – 21,1 и 4,7 МПа соответственно; средняя плотность – 2020 кг/м³; водопоглощение – до 10%; морозостойкость – свыше 75 циклов. Такие свойства кирпича связаны прежде всего со взаимодействием содержащихся в шихте пентаоксида ванадия и закиси железа, которое катализирует процессы образования новых минеральных фаз и обеспечивает смещение интервала спекания керамического матричного композита в область более низкой температуры [18].

Таблица 2
Table 2

Физико-механические свойства керамического кирпича объемного окрашивания с матричной структурой из природного и техногенного сырья
Physical and mechanical properties of volume-stained ceramic bricks with a matrix structure from natural and technogenic raw materials

№ кирпича для испытания	Предел прочности, МПа		Средняя плотность, кг/м ³	Водопоглощение, %	Морозостойкость, циклов
	при сжатии	при изгибе			
Шихта с марганецсодержащей техногенной добавкой					
2-1	14,4	2	1780	12,8	50
2-2	15,2	2,2	1820	12,3	50
2-3	15,6	2,3	1840	12,2	50
2-4	15	2,1	1810	12,3	50
2-5	14,8	2,1	1790	12,5	50
Среднее	15	2,1	1810	12,4	50
Шихта с ванадийсодержащей техногенной добавкой					
3-1	20,6	4,5	1990	9,8	75
3-2	21,8	4,8	2040	9,3	75
3-3	19,9	4,5	1970	9,8	75
3-4	21	4,6	2030	9,5	75
3-5	22,2	5	2050	9,4	75
Среднее	21,1	4,7	2020	9,6	75

Поскольку для окрашивания керамических шихт использовались техногенные продукты, дополнительно были проведены исследования кирпича на соответствие гигиеническим нормативам по ГОСТ 30108–94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов». Исследования по радиационной безопасности выполнялись в аккредитованном испытательном лабораторном центре Новокузнецкого филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Кемеровской области» (протокол № 46216 от 25.12.2020 г.). Результаты анализа показали, что по суммарной удельной эффективной активности естественных радионуклидов (135 Бк/кг) изделия стеновой керамики относятся к первому классу и могут быть использованы во всех видах строительства без ограничений.

По результатам опытно-промышленной апробации были разработаны технологическая схема (рис. 3) и регламент на проектирование производства керамического кирпича объемного окрашивания из глины и марганцевого концентрата в г. Новокузнецке (Кузбасс). Годовая мощность проектируемой производственной линии составляет 20 млн шт. кирпича при круглогодичном режиме работы предприятия.

Согласно технологическому регламенту, полный цикл получения стеновой керамики предусматривает семь основных этапов:

1) *добыча глинистой породы* в карьере экскаватором, ее доставка автосамосвалами на завод и хранение в глинозапаснике для обеспечения подсушки,

вылеживания, а также защиты от попадания атмосферных осадков и промерзания в зимний период;

2) *первичная переработка глинистого сырья*, включая предварительное выделение каменистых включений и дробление на валковых дробилках СМК-1198 и СМ-1096;

3) *вторичная переработка глины*, включая сушку, помол в измельчительно-сепарационной установке, доставку пневмотранспортом и хранение в силосах запаса;

4) *доставка на завод, сушка в барабанной сушилке* и размещение марганцевого концентрата в силосах запаса (годовая потребность в добавке – 8,1 тыс. т);

5) *получение пресс-порошка* путем дозированной весовой подачи, увлажнения и агрегации глины в турболопастных смесителях-грануляторах периодического действия ТЛ-150 с дальнейшим опудриванием гранул марганцевым концентратом в тарельчатых грануляторах Т-300 до размера 1–3 мм фактической влажностью 11–12%;

6) *полусухое прессование* кирпича-сырца формата 1НФ на прессе СМК-491 при удельном давлении 14–16 МПа (производительность – 20,5 млн шт./г) и укладка автоматом-садчиком в транспортные пакеты;

7) *сушка и обжиг керамического кирпича* в туннельной печи при максимальной температуре 1000°C.

Обожженный кирпич на выходе из туннельной печи забирается на транспортную вагонетку, с помощью которой доставляется к месту автоматического формирования готовых пакетов с обвязкой стальной лентой и упаковкой в термоусадочную пленку. Товарные пакеты кирпича доставляются вилочным

погрузчиком на склад готовой продукции, где хранятся до момента реализации.

Заключение

В результате опытно-промышленной апробации подтверждена эффективность технологии керамического кирпича объемного окрашивания с матричной структурой на основе природного и техногенного сырья.

Использование гранулированных шихт с марганец- или ванадийсодержащими техногенными красящими добавками обеспечивает выраженную объемную окраску керамического кирпича соответственно в коричневый и темно-серый цвета. При этом изделия отвечают требованиям ГОСТ для марок 150–200: кирпич пустотелый, одинарный, разме-

ра 1НФ; марка по прочности изделий – М150–200; класс средней плотности – 2; марка по морозостойкости – F50–75.

По результатам опытно-промышленных испытаний технологии стеновой керамики объемного окрашивания с матричной структурой разработан технологический регламент на проектирование производства объемно-окрашенного керамического кирпича из глины и марганцевого концентрата в г. Новокузнецке (Кузбасс) мощностью 20 млн шт./г.

Реализация технологии, разработанной авторами, позволит использовать марганецсодержащие попутные продукты для объемного окрашивания стеновой керамики и обеспечить выпуск недорогого строительного материала, востребованного на современном отечественном рынке.

Список литературы

1. 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.
2. Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Голованова С.П. Теоретические основы белизны и окрашивания керамики и портландцемента. М.: Стройматериалы, 2014. 152 с.
3. Molinari C., Conte S., Zanelli C., Ardit M., Cruciani G., Dondi M. Ceramic pigments and dyes beyond the inkjet revolution: From technological requirements to constraints in colorant design // *Ceramics International*. 2020. Vol. 46. Iss. 14, pp. 21839–21872. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.05.302>
4. Händle F. Extrusion in Ceramics. Berlin: Springer, Berlin, Heidelberg, 2007. 413 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-27102-4>
5. Столбоушкин А.Ю., Акст Д.В., Сыромясов В.А., Иванов А.И., Щербинина Е.О. Влияние способа формования на декоративные свойства при объемном окрашивании керамических образцов // *Труды НГАСУ*. 2016. Т. 19. № 2 (62). С. 138–144.
6. Шлегель И.Ф., Шаевич Г.Я., Андрианов А.В., Руквицын А.В., Кукушкин В.А., Молодкина Л.Н., Носков А.В. Опыт реконструкции завода для выпуска объемно-окрашенного кирпича // *Строительные материалы: Technology*. 2012. № 5. С. 44–45.
7. Гуров Н.Г., Гурова О.Е., Storozhenko G.I. Инновационные направления технологической и аппаратурной реконструкции заводов полусухого прессования // *Строительные материалы*. 2013. № 12. С. 52–55.
8. Юшкевич М.О., Роговой М.И. Технология керамики. М.: Книга по Требованию, 2012. 348 с.
9. Черкасов С.В., Турченко А.Е., Степанова М.П., Шелковникова Т.И. Формирование структуры керамического кирпича при жестком и пластиче-

References

1. Pishch I.V., Maslennikova G.N., Gvozdeva N.A., Klimosh Yu.A., Baranovskaya E.I. Methods for ceramic bricks staining. *Steklo i keramika*. 2007. No. 8, pp. 15–18. (In Russian).
2. Zubekhin A.P., Yatsenko N.D., Golovanova S.P. Teoreticheskie osnovy belizny i okrashivaniya keramiki i portlandtsementa [Theoretical basis of whiteness and coloring of ceramics and Portland cement]. Moscow: Stroymaterialy. 2012. 152 p.
3. Molinari C., Conte S., Zanelli C., Ardit M., Cruciani G., Dondi M. Ceramic pigments and dyes beyond the inkjet revolution: From technological requirements to constraints in colorant design. *Ceramics International*. 2020. Vol. 46. Iss. 14, pp. 21839–21872. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.05.302>
4. Händle F. Extrusion in Ceramics. Berlin: Springer, Berlin, Heidelberg. 2007. 413 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-27102-4>
5. Stolboushkin A.Yu., Akst D.V., Syromyasov V.A., Ivanov A.I., Shcherbinina E.O. Influence of the molding method on decorative properties during volume coloring of ceramic samples. *Trudy NGASU*. 2016. Vol. 19. No. 2 (62), pp. 138–144. (In Russian).
6. Shlegel' I.F., Shaevich G.Ya., Andrianov A.V., Rukavitsyn A.V., Kukushkin V.A., Molodkina L.N., Noskov A.V. The experience in the reconstruction of a factory of volume colored brick. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 5, pp. 44–45. (In Russian).
7. Gurov N.G., Gurova O.E., Storozhenko G.I. Innovative directions of technological and instrumental reconstruction of semi-dry pressing plants. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 12, pp. 52–55. (In Russian).
8. Yushkevich M.O., Rogovoi M.I. Tekhnologiya keramiki [Technology of ceramics]. Moscow: Kniga po trebovaniyu. 2012. 348 p.
9. Cherkasov S.V., Turchenko A.E., Stepanova M.P., Shelkovnikova T.I. Formation of the ceramic bricks

- ском способах формования // *Химия, физика и механика материалов*. 2018. № 1 (16). С. 33–44.
10. Галицкий С.Я., Галицкий К.С., Назаров М.А. Математическое моделирование формования керамической массы в шнековом прессе как объекта автоматизации производства кирпича // *Промышленное и гражданское строительство*. 2014. № 3. С. 25–29.
 11. Nicolas M.F., Vlasova M., Aguilar P.A.M., Kakazey M., Cano M.M.C., Matus R.A., Puig T.P. Development of an energy-saving technology for sintering of bricks from high-siliceous clay by the plastic molding method // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118142>
 12. Wiemes L., Pawlowsky U., Mymrin V. Incorporation of industrial wastes as raw materials in brick's formulation // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 142, pp. 69–77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.174>
 13. 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>
 14. 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>
 15. 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.
 16. Патент РФ 2641533. *Способ получения сырьевой смеси для декоративной стеновой керамики* / Столбоушкин А.Ю., Акст Д.В., Иванов А.И., Фомина О.А., Сыромясов В.А. Заявл. 01.12.2016. Опубл. 18.01.2018. Бюл. № 2.
 17. 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>
 18. Badge S.K., Deshpande A.V. Effect of vanadium doping on structural, dielectric and ferroelectric properties of bismuth titanate ($\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$) ceramics // *Ceramics International*. 2019. Vol. 45. Iss. 12, pp. 15307–15313. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.05.021>
 - structure with rigid and plastic molding methods. *Khimiya, fizika i mekhanika materialov*. 2018. No. 1 (16), pp. 33–44. (In Russian).
 10. Galitskov S.Ya., Galitskov K.S., Nazarov M.A. Mathematical modeling of ceramic mass molding in a screw press as an object of brick production automation. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2014. No. 3, pp. 25–29. (In Russian).
 11. Nicolas M.F., Vlasova M., Aguilar P.A.M., Kakazey M., Cano M.M.C., Matus R.A., Puig T.P. Development of an energy-saving technology for sintering of bricks from high-siliceous clay by the plastic molding method. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118142>
 12. Wiemes L., Pawlowsky U., Mymrin V. Incorporation of industrial wastes as raw materials in brick's formulation. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 142, pp. 69–77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.174>
 13. 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>
 14. 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>
 15. 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).
 16. Patent RF 2641533. *Sposob polucheniya syr'evoi smesi dlya dekorativnoi stenovoi keramiki* [The method of obtaining a raw mix for decorative wall ceramics]. Stolboushkin A.Yu., Akst D.V., Ivanov A.I., Fomina O.A., Syromyasov V.A. Declared 01.12.2016. Published 18.01.2018. Bulletin No. 2. (In Russian).
 17. Salahov A.M., Morozov V.P., Vagizov F.G., Eskin A.A., Valimuhametova A.R., Zinnatullin A.L. The scientific basis of color management of face brick at the 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).
 18. Badge S.K., Deshpande A.V. Effect of vanadium doping on structural, dielectric and ferroelectric properties of bismuth titanate ($\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$) ceramics. *Ceramics International*. 2019. Vol. 45, Iss. 12, pp. 15307–15313. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.05.021>

Е.С. ГАЙШУН, инженер (SUBARU156@yandex.ru), Х.С. ЯВРУЯН, канд. техн. наук (khungianos@mail.ru), И.А. СЕРЕБРЯНАЯ, канд. техн. наук (silveririna@mail.ru), Е.В. ДЕМЕНТЬЕВА, инженер (marchenkoEKA@yandex.ru), А.С. ГАЙШУН, бакалавр (SUBARU156@yandex.ru)

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

Подбор составов керамических масс на основе отсевов переработки террикоников для производства керамических изделий методами математического планирования

Работа посвящена подбору состава керамических масс для производства крупноформатных керамических блоков на основе техногенного сырья угольного ряда с применением методов математического планирования эксперимента. Рассматривается возможность замены классического глинистого сырья на нетрадиционное техногенное сырье угольного ряда Восточного Донбасса (отсевов террикоников), которые образуются при переработке террикоников с целью извлечения угля. Причиной столь широкого интереса к данному техногенному продукту послужило сокращение базы качественного глиняного сырья, а также большое количество скопившихся террикоников. Подобранные в работе составы с использованием отсевов террикоников показали, что керамические образцы имеют высокие прочностные характеристики, которые соответствуют требованиям ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия». Применение методов математического планирования эксперимента позволяет наиболее полно оценить и проанализировать полученные данные.

Ключевые слова: техногенное сырье, керамический блок, прочность, математическое планирование, отклики, варьируемые факторы.

Для цитирования: Гайшун Е.С., Явруян Х.С., Серебряная И.А., Деметьева Е.В., Гайшун А.С. Подбор составов керамических масс на основе отсевов переработки террикоников для производства керамических изделий методами математического планирования // *Строительные материалы*. 2021. № 4. С. 16–22. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-16-22>

E.S. GAISHUN, Engineer (SUBARU156@yandex.ru), K.S. YAVRUYAN, Candidate of Sciences (Engineering) (khungianos@mail.ru), I.A. SEREBRYANAYA, Candidate of Sciences (Engineering) (silveririna@mail.ru), E.V. DEMENTIEVA, Engineer (marchenkoEKA@yandex.ru), A.S. GAISHUN, Bachelor (SUBARU156@yandex.ru) Don State Technical University (1, Gagarin Square, 344000, Rostov-on-Don, Russian Federation)

Selection of Compositions of Ceramic Masses on the Basis of Screenings Processing of Waste Materials for The Production Ceramic Using Mathematical Planning Methods

In this paper, we consider the selection of the composition of ceramic masses for the production of large-format ceramic blocks based on technogenic raw materials of the coal series using methods of mathematical planning of the experiment. The possibility of replacement of classical clay raw materials for unconventional industrial materials coal number of Eastern Donbass (screenings of territorial), which are formed by PE-processing of territorial to extract coal. The reasons for the increase in such a wide interest in this technogenic raw material was the reduction of the base of high-quality clay raw materials, as well as a large number of accumulated waste materials. The compositions selected in the work with the use of screenings of waste materials showed that ceramic samples have high strength characteristics that meet the requirements of GOST 530–2012. Using methods of mathematical planning of the experiment allows you to fully evaluate and analyze the data obtained.

Keywords: technogenic raw materials, ceramic block, strength, mathematical planning, responses, variable factors.

For citation: Gaishun E. S., Yavruyan Kh. S., Serebryanaya I.A., Dementieva E.V., Gaishun A.S. Selection of compositions of ceramic masses on the basis of screenings processing of waste materials for the production ceramic using mathematical planning methods. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 4, pp. 16–22. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-16-22>

Перспективное сырье для производства керамических камней

В настоящее время ведется активная разработка террикоников Восточного Донбасса с целью извлечения угля, что существенно повысило интерес промышленности строительных материалов к популярным продуктам их разработки [1]. Концепция использования энергосберегающих и экологически чистых технологий при производстве керамических строительных материалов приобретает в мире все большее значение. Развитие стройиндустрии влечет за собой расширение номенклатуры изделий строительной стеновой керамики и увеличение объемов их производства. Одним из перспективных направ-

лений развития может считаться производство высокоэффективных керамических камней формата 2,1 НФ и выше. В настоящее время в угледобывающих районах Ростовской области (Восточный Донбасс) активно ведется переработка террикоников, в первую очередь с целью извлечения угля, которая стала экономически целесообразной и актуальной. В процессе извлечения угля из террикоников образуется ряд материалов, отличающихся по зерновому и химико-минералогическому составу. Помимо угля, содержание которого обычно колеблется от 10 до 20%, основными породами, слагающими терриконики, являются алевролиты, аргиллиты и песчаники.

Технология производства керамических камней на основе техногенного сырья угольного ряда имеет свои особенности, которые связаны с некоторыми особенностями сырья. Замена глинистого сырья возможна для получения керамического камня (блока) с заданными свойствами. За базовое изделие в работе принят керамический блок, соответствующий ГОСТ 530–2012.

Наибольший интерес в качестве базового сырья для керамики представляют отсеивы от переработки террикоников – среднезернистые материалы с размером частиц от 2 до 6 мм. Они мало востребованы, однородны по составу и частично подготовлены для производства. Основные минералы отсеивов: полевые шпаты, кварц, слюды и гидрослюды. Полевые шпаты представлены в основном ортоклазом и альбитом. Они подвержены сильным вторичным изменениям – пеллитизации и хлоритизации. Гидрослюда (иллит) – типичный глинистый минерал, имеющий такой же структурный пакет типа 2:1, что и монтмориллонит, но в отличие от него в тетраэдрическом слое всегда содержатся ионы алюминия, изоморфно замещающие ионы кремния, а образующийся заряд пакета компенсируется ионами калия. Также присутствуют вторичные железистые минералы в виде оксидов и гидроксидов. Для производства керамических образцов используется техногенное сырье угольного ряда (отсеивы) с добавлением глины в количестве 10–30%. Соотношение данных компонентов может изменяться в зависимости от состава исходного горного отвала [2–7].

Характеристика исходных материалов

В качестве исходных составляющих были приняты следующие материалы:

- техногенное сырье угольного ряда – отсеивы переработки террикоников;
- в качестве добавки – суглинков Чалтырского месторождения.

Методы исследований, планирование эксперимента и обсуждение

Оптимизацию составов керамической массы с применением нетрадиционного камневидного сырья проводили методом математического планирования. Эксперимент проводился с использованием полного факторного эксперимента ПФЭ 32. В качестве варьируемых факторов были приняты X_1 – температура обжига, °С; X_2 – гранулометрический состав отсеивов, фр.; X_3 – добавка глины, %. Факторы, используемые в эксперименте, и уровни их варьирования представлены в табл. 1.

Матрица плана ПФЭ 32 представлена в табл. 2.

В качестве откликов приняты:

Y_1 – предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа;

Y_2 – предел прочности при изгибе $R_{изб}$, МПа;

Y_3 – водопоглощение W , %.

Подготовка сырья к испытаниям заключалась в следующем: отсеивы высушивали в сушильном шкафу

при $t=105\pm 5^\circ\text{C}$, затем их измельчали в щековой дробилке до требуемой фракции, после чего добавлялась глина в количестве 10; 20 и 30%. Увлажнение смеси осуществлялось с помощью распылителя. Затем смесь тщательно перемешивалась до получения нормальной формовочной влажности. После получения нужной консистенции массу тщательно проминали и давали настояться в течение суток для равномерного распределения влажности. Далее осуществлялась формовка образцов-кубов $50\times 50\times 50$ мм и образцов-балочек размером $135\times 30\times 15$ мм. Образцы выдерживались в нормальных условиях в течение суток и вы-

Таблица 1
Table 1

Факторы и уровни их варьирования Factors and levels of their variation

Показатель	Условные обозначения	Факторы		
		X_1	X_2	X_3
Минимальное значение	X_{\min}	900	0,16	10%
Максимальное значение	X_{\max}	1100	0,63	30%
Интервал варьирования	ΔX	100	0,235	10%
Основной уровень	X_0	1000	0,315	20%

Таблица 2
Table 2

Матрица плана ПФЭ 32 Matrix of the plan of the full factorial experiment 32

№	План кодированных значений факторов		
	X_1	X_2	X_3
1	1	1	1
2	1	1	-1
3	1	-1	1
4	1	-1	-1
5	-1	1	1
6	-1	1	-1
7	-1	-1	1
8	-1	-1	-1

Таблица 3
Table 3

Значения откликов Response values

$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа	W , %
6,08	17,3	16,76
10,76	19,8	14,89
20,17	56,9	4,41
10,27	22,9	16,3
10,42	47	14,14
24,54	123	0,95
9,24	28,3	18,66
14,8	67,4	14,87
27,48	61,8	0,34

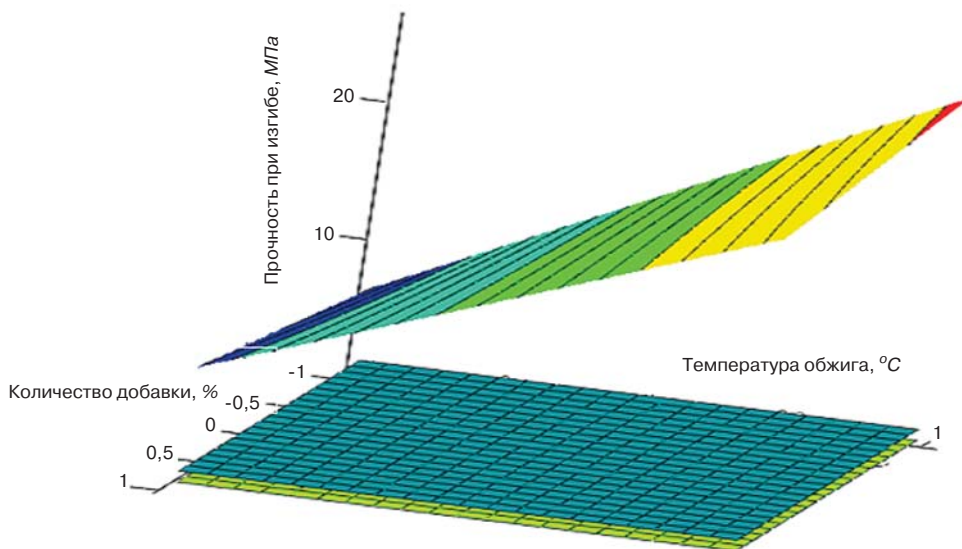


Рис. 1. Зависимость прочности при изгибе от температуры обжига и расхода глины при постоянном грансоставе, равном 0,16 мм, для керамического блока марки М125 по требованиям ГОСТ 530–2012: ■ – средний предел прочности при изгибе (1,6 МПа); ■ – наименьший предел прочности при изгибе на один образец (0,8 МПа)

Fig. 1. Dependence of the flexural strength on the firing temperature and the consumption of clay at a constant particle size distribution equal to 0.16 mm for a ceramic block of grade M125 in accordance with the requirements of GOST 530–2012: ■ – average ultimate strength in bending (1.6 MPa); ■ – the smallest bending strength per sample (0.8 MPa)

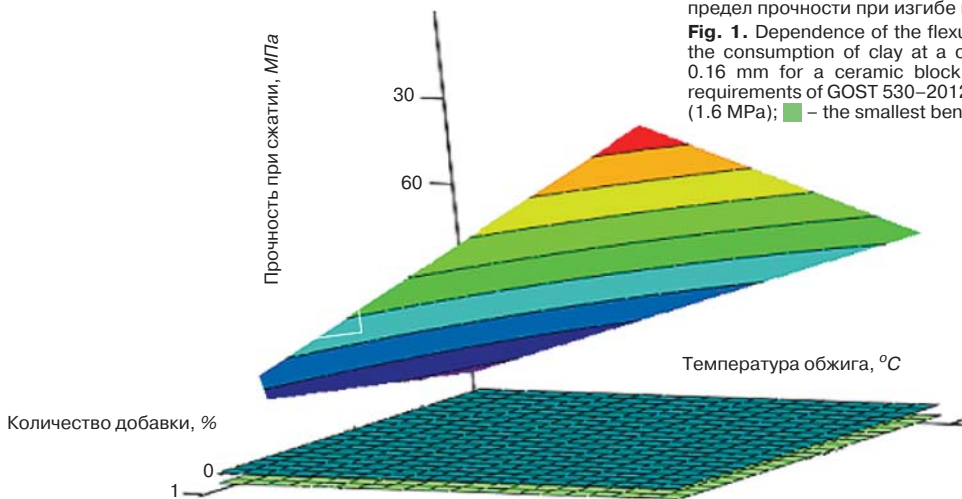


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии от температуры обжига и расхода глины при постоянном грансоставе, равном 0,16 мм, для керамического блока марки М125 по требованиям ГОСТ 530–2012: ■ – средний предел прочности при сжатии (12,5 МПа); ■ – наименьший предел прочности при сжатии на один образец (10 МПа)

Fig. 2. Dependence of the compressive strength on the firing temperature and the consumption of clay at a constant particle size distribution equal to 0.16 mm for a ceramic block of grade M125 according to the requirements of GOST 530–2012: ■ – average ultimate compressive strength (12.5 MPa); ■ – the lowest compressive strength per sample (10 MPa)

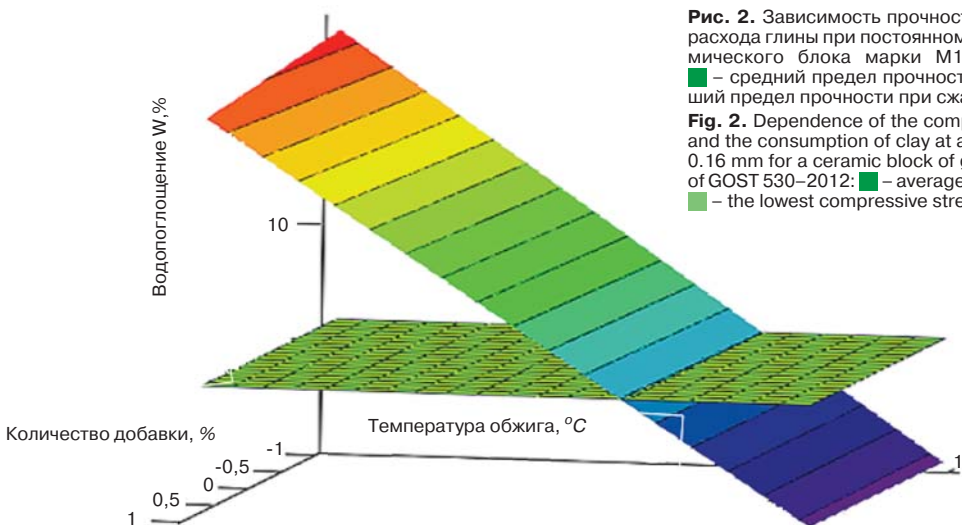


Рис. 3. Зависимость водопоглощения от температуры обжига и расхода глины при зерновом составе менее 0,16 мм: ■ – не менее 6% по данным ГОСТ 530–2012

Fig. 3. Dependence of water absorption on the firing temperature and the consumption of clay with a grain size of less than 0.16 mm: ■ – not less than 6% according to GOST 530–2012

сушились в сушильном шкафу 24 ч при температуре 105°C. Далее образцы обжигались при заданной температуре. После обжига образцы подвергали испытаниям [8–11].

Результаты проведенных экспериментов и значения откликов представлены в табл. 3.

Математическая обработка полученных результатов оптимизации проводилась в программах Excel и MathCad. В качестве математической модели выбрано неполноквадратическое полиномиальное уравнение:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_1X_3 + B_{23}X_2X_3. (1)$$

Статистический анализ полученных уравнений регрессии для каждого из откликов оценивали по трем критериям: однородности дисперсий, значимости коэффициентов и адекватности, которая проверялась с помощью критерия Фишера [12–16]. В результате проведения эксперимента и регрессионного анализа получены значения коэффициентов, представленные в табл. 4.

В результате реализации плана эксперимента получены составы керамических масс, изделия на основе которых отличаются широким диапазоном физико-механических свойств. Диапазон изменения экспериментальных значений изучаемых показателей приведен в табл. 5.

На практике с целью оперативного управления технологическими процессами обычно используются различные графические построения, позволяющие при любом заданном $Y = \text{const}$ быстро установить с учетом специфики производства значения варьируемых факторов. При этом $Y = \text{const}$ соответствует бесчисленное множество колебаний X_i , причем факторы уже становятся не независимыми и любой из них становится функцией остальных. Наиболее удобной формой графического выражения полученных зависимостей является изображение на плоскости, где один из факторов стабилизируется на постоянном уровне, а два остальных изменяются в заданных интервалах варьирования (рис. 1–3). Используя такие графики, легко определять условия, необходимые для получения изделий того или иного качества по прочности, плотности и т. д. С помощью таких уравнений регрессии представляется возможным определить весь диапазон значений выходных параметров в исследуемой области факторного пространства с последующим графическим изображением характера изменения исследуемых свойств [17–20].

Общий анализ влияния температуры обжига, фракционного состава отсева и добавки глины на предел прочности при сжатии и изгибе, водопоглощение обожженных лабораторных образцов позволяют утверждать, что полученные зависимости носят линейный характер (рис. 1–3).

Предел прочности при изгибе – одна из важнейших характеристик, по которой устанавливается марка изделий и определяется их качество. интер-

Таблица 4
Table 4

Коэффициенты уравнения регрессии
Regression equation coefficients

Отклики	Значения коэффициентов						
	B_0	B_1	B_2	B_3	B_{12}	B_{13}	B_{23}
Y_1	48,83	14,08	27,63		8,48	-8,13	
Y_2	14,61		8,33	-1,7	-1,12		
Y_3	10,14	-0,22	-7,36	0,78	0,26		1,34

Таблица 5
Table 5

Диапазон изменений основных показателей качества
The range of changes in the main quality indicators

Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Водопоглощение, %
17,3–123	6,08–27,48	0,34–18,66

претации полученной зависимости прочности от температуры обжига и расхода глины при постоянном грансоставе следует, и что на данный показатель наибольшее влияние имеет фракционный состав техногенного сырья (отсева), причем с уменьшением зернового состава от 0,63 до 0,16 мм прочность обожженных образцов существенно увеличивается. Это объясняется увеличением площади контакта между зёрнами и увеличением степени спекания.

К увеличению предела прочности при изгибе, по данным экспериментов, приводит уменьшение расхода глины с 30 до 10%, что не совсем характерно для технологии керамики. Объясняется это тем, что отсева, представленные алевролитами, сложены легкоплавкими минералами, такими как слюды, гидрослюды, полевые шпаты, железистые гидроалюмосиликаты и другие минералы. Это способствует активному спеканию при определенной степени измельчения и оптимальном количестве тонкодисперсной фракции, представленной глинистыми минералами.

Изменение температуры обжига также влияет на предел прочности при изгибе. Из представленных данных (табл. 3) четко видно, что с ее увеличением увеличивается и предел прочности при изгибе. Это является закономерным для технологии керамики. Наибольший эффект по прочности наблюдается при увеличении температуры обжига и увеличении степени измельчения отсева.

Подобравные в результате эксперимента составы с использованием отсева переработки террикони-ков показывают, что обожженные образцы на их основе по пределу прочности при изгибе превышают требуемую среднюю прочность (1,6 МПа) для керамического блока марки М125 по ГОСТ 530–2012 примерно в десять раз. С учетом высокой пустотности блоков превышение прочности может составлять до пяти раз. Таким образом, подтверждено, что керамические изделия на основе отсева террикони-ков обладают достаточно высоким пределом проч-

ности при изгибе. Такие же зависимости наблюдаются и для предела прочности при сжатии. Влияние исследуемых факторов на прочность при сжатии можно проранжировать следующим образом: фракционный состав отсева $X_2 >$ температура обжига $X_1 >$ содержание глины X_3 . Причем, как и в случае с $R_{изг}$, с уменьшением размера фракции прочность увеличивается, и с ростом температуры от 900 до 1100°C $R_{сж}$ возрастает. Это связано также с увеличением площади контакта между зёрнами и увеличением степени спекания.

Подобранные в работе составы с использованием отсевов террикоников показывает, что керамические образцы на их основе обладают достаточно высокими прочностными показателями и вполне соответствуют требованиям ГОСТ 530–2012.

Анализ воздействия исследуемых факторов на водопоглощение показывает, что основное влияние

имеет фракционный состав отсева X_2 . При этом варьируемые факторы, добавка глины (X_3) и температура обжига (X_1), оказывают незначительное действие на показатель. Таким образом, керамический камень после обжига обладает необходимой пористой структурой, что, в свою очередь, влияет на водопоглощение материала. Полученные результаты по подбору составов керамических масс показывают, что водопоглощение обожженных образцов напрямую зависит от температуры обжига. До температуры 1000°C обожженные образцы имеют водопоглощение более 6%, а с повышением температуры до 1100°C – менее 6%. Все это делает отсева переработки террикоников весьма перспективным сырьем для получения высокоэффективных керамических блоков, являющихся наиболее перспективными стеновыми изделиями для современного строительства.

Список литературы

1. Yavruyan K.S., Kotlyar V.D., Gaishun E.S., Okhotnaya A.S., Lotoshnikova E.A., Chanturiya K. High performance ceramic stones on the basis of by-products of waste heaps – screenings and coal slurry. *E3S Web Conf. Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITESE-2019)*. 2019. Vol. 135. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913503017>
2. Yavruyan K.S., Gaishun E.S., Teryokhina Y. Comprehensive approach to the processing of east Donbass spoil tip. *IEEE International Conference «Management of Municipal Waste as an Important Factor of Sustainable Urban Development» (WASTE)*. 2018, pp. 22–24. DOI: 10.1109/WASTE.2018.8554158
3. Явруян Х.С., Гайшун Е.С., Котляр В.Д. Особенности компрессионного формования тонкодисперсных продуктов углеобогащения при производстве керамического кирпича // *Строительные материалы*. 2017. № 12. С. 14–17.
4. Явруян Х.С., Котляр В.Д., Лотошников Е.О., Гайшун Е.С. Исследование среднефракционных материалов переработки террикоников для производства изделий стеновой керамики // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 17–20. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-758-4-17-20>
5. Явруян Х.С., Котляр В.Д., Гайшун Е.С. Комплексная переработка угольных отвалов Восточного Донбасса для получения строительной керамики // *Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов*. 2019. № 5. С. 489–494.
6. Гайшун Е.С., Явруян Х.С., Гайшун А.С. Техногенное сырье угольного ряда для производства грубой строительной керамики // *Актуальные проблемы науки и техники*. 2019. С. 762–763.
7. Stolboushkin A.Yu., Ivanov A.I., Fomina O.A. Use of coal-mining and processing wastes in production of bricks and fuel for their burning. *Procedia Engineering*.

References

1. Yavruyan K.S., Kotlyar V.D., Gaishun E.S., Okhotnaya A.S., Lotoshnikova E.A., Chanturiya K. High performance ceramic stones on the basis of by-products of waste heaps – screenings and coal slurry. *E3S Web Conf. Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITESE-2019)*. 2019. Vol. 135. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913503017>
2. Yavruyan K.S., Gaishun E.S., Teryokhina Y. Comprehensive approach to the processing of east Donbass spoil tip. *IEEE International Conference «Management of Municipal Waste as an Important Factor of Sustainable Urban Development» (WASTE)*. 2018, pp. 22–24. DOI: 10.1109/WASTE.2018.8554158
3. Yavruyan Kh.S., Gayshun E.S., Kotlyar A.V. Features of compression molding of fine-disperse products of coal washing when producing ceramic brick. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 12, pp. 14–17.
4. Yavruyan Kh.S., Kotlyar V.D., Lotoshnikova Ye.O., Gaishun E.S. Investigation of medium-fraction materials processing of terriconics for production wall ceramic products. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 4, pp. 17–20. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-758-4-17-20> (In Russian).
5. Yavruyan Kh.S., Kotlyar V.D., Gaishun E.S. Complex processing of coal dumps of the Eastern Donbass for obtaining construction. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov*. 2019. No. 5, pp. 489–494. (In Russian).
6. Gaishun E.S., Yavruyan Kh.S., Gaishun A.S. Technogenic raw materials of the coal row for the production of rough building ceramics. *Aktual'nye problemy nauki i tekhniki*. 2019, pp. 762–763. (In Russian).
7. Stolboushkin A.Yu., Ivanov A.I., Fomina O.A. Use of coal-mining and processing wastes in production of bricks and fuel for their burning. *Procedia Engineering*.

2016. Vol. 150, pp. 1496–1502. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.089>
8. Столбоушкин А.Ю., Акст Д.В., Фомина О.А., Иванов А.И., Сыромясов В.А. Анализ отходов угольной промышленности предприятий Кемеровской области как сырья для производства керамических материалов. *Серия конференций ВГД: наука о Земле и окружающей среде*. 2017.
 9. Yavruyan K.S., Kotlyar V.D., Gaishun E.S. Medium-fraction materials for processing of coal-thread waste drains for the production of wall ceramics. *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931, pp. 532–536. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.532>
 10. Yavruyan K.S., Kotlyar V.D. Thin issues products of processing waste heaps as raw materials for ceramic wall products. *MATEC Web of Conferences*. 2017. 05013. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712905013>
 11. Terekhina Yu.V., Lapunova K.A., Kotlyar A.V., Orlova M.E., Lazareva Ya.V., Yaschenko R.A., Bozhko Yu.A. Methods for testing stonelike siliceous and clay raw materials used for producing ceramic. *Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST)*. 2019. Vol. 1, pp. 328–332. <https://doi.org/10.2991/isees-19.2019.64>
 12. Serebryanaya I.A., Matrosov A.A., Poryadina N.A., Soloviev A.N. Analysis of the stress-strain state of ceramic brick when tested for compressive strength. *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 974, pp. 510–514. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.510>
 13. Matrosov A.A., Nizhnik D.A., Poryadina N.A., Serebryanaya I.A., Soloviev A.N. Calculation of stresses and deformations in masonry with various types of bricks. *Proceedings of the 2018 International Conference on «Physics, Mechanics of New Materials and Their Applications»*. 2019, pp. 243–249. <https://novapublishers.com/shop/proceedings-of-the-2018-international-conference-on-physics-mechanics-of-new-materials-and-their-applications/>
 14. Нижник Д.А., Серебряная И.А., Порядина Н.А. Исследование напряженно-деформированного состояния керамических кирпичей различной пустотности при проведении испытаний на сжатие. *XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики: Сборник трудов: В 4 т. Т. 3: Механика деформируемого твердого тела*. Уфа: РИЦ БашГУ, 2019. С. 156–157.
 15. Muñoz Velasco P., Morales Ortíz M.P., Medivil Giró M.A., Muñoz Velasco L. Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – A review. *Construction and Building materials*. 2014. Vol. 63, pp. 97–107. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.045>
 16. Ливадная Д.Б., Серебряная И.А. Анализ причин и последствий потенциальных несоответствий в строительной отрасли // *Инженерный вестник Дона*. 2019. № 6. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_48_Livadnaya_Serebryanaya_3.pdf_55ebc284b4.pdf
 2016. Vol. 150, pp. 1496–1502. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.089>
 8. Stolbushkin A.Yu., Akst D.V., Fomina O.A., Ivanov A.I., Syromyasov V.A. Analysis of coal industry waste from enterprises of the Kemerovo region as a raw material for the production of ceramic materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017.
 9. Yavruyan K.S., Kotlyar V.D., Gaishun E.S. Medium-fraction materials for processing of coal-thread waste drains for the production of wall ceramics. *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931, pp. 532–536. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.532>
 10. Yavruyan K.S., Kotlyar V.D. Thin issues products of processing waste heaps as raw materials for ceramic wall products. *MATEC Web of Conferences*. 2017. 05013. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712905013>
 11. Terekhina Yu.V., Lapunova K.A., Kotlyar A.V., Orlova M.E., Lazareva Ya.V., Yaschenko R.A., Bozhko Yu.A. Methods for testing stonelike siliceous and clay raw materials used for producing ceramic. *Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST)*. 2019. Vol. 1, pp. 328–332. <https://doi.org/10.2991/isees-19.2019.64>
 12. Serebryanaya I.A., Matrosov A.A., Poryadina N.A., Soloviev A.N. Analysis of the stress-strain state of ceramic brick when tested for compressive strength. *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 974, pp. 510–514. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.510>
 13. Matrosov A.A., Nizhnik D.A., Poryadina N.A., Serebryanaya I.A., Soloviev A.N. Calculation of stresses and deformations in masonry with various types of bricks. *Proceedings of the 2018 International Conference on «Physics, Mechanics of New Materials and Their Applications»*. 2019, pp. 243–249. <https://novapublishers.com/shop/proceedings-of-the-2018-international-conference-on-physics-mechanics-of-new-materials-and-their-applications/>
 14. Nizhnik D.A., Serebryanaya I.A., Poryadina N.A. Investigation of the stress-strain state of ceramic bricks of various voids during a compression test. *XII All-Russian Congress on Fundamental Problems of Theoretical and Applied Mechanics: a collection of works in 4 volumes. Vol. 3: Mechanics of a Deformable Solid*. Ufa: RITs BashGU, 2019, pp. 156–157. (In Russian).
 15. Muñoz Velasco P., Morales Ortíz M.P., Medivil Giró M.A., Muñoz Velasco L. Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – A review. *Construction and Building materials*. 2014. Vol. 63, pp. 97–107. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.045>
 16. Livadnaya D.B., Serebryanaya I.A. Analysis of the causes and consequences of potential inconsistencies in the construction industry. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2019. No. 6. (In Russian).
 17. Nizhnik D.A., Poryadina N.A., Serebryanaya I.A. Mathematical and computer modeling in ANSYS of elements of building structures with different struc-

17. Нижник Д.А., Порядина Н.А., Серебряная И.А. Математическое и компьютерное моделирование в ANSYS элементов строительных конструкций с различной структурой пористости. *Математическое моделирование и биомеханика в современном университете: Тез. докл. XIV Всероссийской школы.* 27–31 мая 2019 г. Ростов-на-Дону, Таганрог. С. 108.
18. Порядина Н.А., Серебряная И.А. Математическое моделирование испытания керамического кирпича на прочность при сжатии. *Математическое моделирование и биомеханика в современном университете: Тез. докл. XIV Всероссийской школы.* 27–31 мая 2019 г. Ростов-на-Дону, Таганрог. 2019. С. 116.
19. Серебряная И.А., Серебряная Д.С. Математическое планирование при подборе состава строительных материалов. *Интеллектуальные технологии и проблемы математического моделирования: Материалы II Всерос. науч. конф. 30 сентября – 3 октября 2019 г.* Ростов-на-Дону. С. 42–43.
20. Порядина Н.А., Матросов А.А., Серебряная И.А., Нижник Д.А. Математическое моделирование условий испытания керамического кирпича. *Интеллектуальные технологии и проблемы математического моделирования: Материалы II Всерос. науч. конф. 30 сентября – 3 октября 2019 г.* Ростов-на-Дону. С. 41–42.
- tures of porosity. *Mathematical modeling and biomechanics in a modern university: Abstracts of the XIV All-Russian School.* May 27–31, 2019. Rostov-on-Don, Taganrog. p. 108. (In Russian).
18. Poryadina N.A., Serebryanaya I.A. Mathematical modeling of testing of ceramic bricks for compressive strength. *Mathematical modeling and biomechanics in a modern university: Abstracts of the XIV All-Russian School.* May 27–31, 2019. Rostov-on-Don, Taganrog. 2019, p. 116. (In Russian).
19. Serebryanaya I.A., Serebryanaya D.S. Mathematical planning in the selection of the composition of building materials. *Intelligent technologies and problems of mathematical modeling: Proceedings of the II All-Russian Scientific Conference.* September 30 – October 3, 2019. Rostov-on-Don, pp. 42–43. (In Russian).
20. Poryadina N.A., Matrosov A.A., Serebryanaya I.A., Nizhnik D.A. Mathematical modeling of conditions for testing ceramic bricks. *Intelligent technologies and problems of mathematical modeling: Proceedings of the II All-Russian Scientific Conference.* September 30 – October 3, 2019. Rostov-on-Don, pp. 41–42. (In Russian).

www.cemconf.ru/37 **II КОНФЕРЕНЦИЯ**
info@rucem.ru **RUCEM.RU**

**«Открытый диалог цементников,
производителей строительной химии и бетонов»**

Геленджик, Отель Приморье, 27-28 мая 2021 года

организаторы

RUCEM.RU **ПОЛИПЛАСТ®**
ИДЕЯ. КАЧЕСТВО. МАТЕРИЯ

интернет-журнал о цементе "РУЦЕМ.РУ" и группа компаний "ГК ПОЛИПЛАСТ"
при поддержке

**КАРЬЕРЫ ЕВРАЗИИ**
Ассоциация производителей и потребителей
природных строительных материалов

**СОЮЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ БЕТОНА**
НА "СОЮЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ БЕТОНА"

Информационный партнер: журнал **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®**



Решающим преимуществом является (цифровой) сервис

С помощью сервисного приложения HÄNDLE, установленного на любом подходящем устройстве, операторы машин и обслуживающий персонал могут получать дистанционное обучение и поддержку от наших сервисных специалистов HÄNDLE с использованием системы Assisted Reality (AR). Таким образом, проблемы и неисправности могут быть проверены и устранены быстро и незамедлительно. При этом вы экономите время и сокращаете дорожные расходы сервисного специалиста на месте. Хотите использовать приложение HÄNDLE Service App? Свяжитесь с нами!

HÄNDLE - ПРЕИМУЩЕСТВО В КИРПИЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



HÄNDLE GmbH Maschinen und Anlagenbau · Mühlacker (Germany) · www.haendle.com

ООО ХЕНДЛЕ-БРАУН · 196247 Санкт-петербург (Российская Федерация) · Тел +7 812 309 5663 · info@haendle-braun.ru

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО · 196247 Санкт-петербург (Российская Федерация) · Тел +7 812 309 5611 · gleb.yushin@haendle.ru

ООО ХЕНДЛЕ УРАЛ · 454138 Челябинск (Российская Федерация) · Тел +7 351 219 8535 · haendle.ural@gmail.com

ПЛОСКАЯ ЭКСТРУЗИЯ ОТ ИСПАНСКОЙ КОМПАНИИ «Тальерес Фелипе Вердес, С.А.»

FLAT EXTRUSION BY SPANISH COMPANY TALLERES FELIPE VERDES, S.A.

Впервые керамическая плитка появилась во времена ранней вавилонской и египетской цивилизаций.



В средние века вследствие китайского и арабского влияния керамическая плитка превратилась в орнаментальный элемент монументов и общественных зданий. Через Шелковый путь с востока и с юга через королевство Аль-Андалус, господствовавшее в те времена на территории Пиренейского полуострова, арабы и китайцы ввели в обиход средневековой Европы собственную технологию производства керамики и классические геометрические узоры.

Поэтому керамическая плитка имеет в Испании давние традиции производства и применения и пользуется большой популярностью. На протяжении веков мастера и производители керамики совершенствовали и оттачивали свои методы, что в итоге и привело к становлению современных технологических процессов производства керамической плитки. Сегодня Испания – один из ведущих мировых производителей этого материала и второй по величине экспортер после Китая.

Обладая 113-летним опытом, имея за плечами тысячи машин, поставленных более чем в 60 стран, испанская компания «Тальерес Фелипе Вердес, С.А.» является стратегическим партнером огромного числа производителей строительной керамики по всему миру. Сегодня, несмотря на проблемы в отрасли, связанные с мировым экономическим кризисом и пандемией COVID-19, постоянно растет спрос на продукцию с характерными

особенностями (как техническими, так и эстетическими), например на инновационные элементы вентилируемых фасадов, элитную клинкерную плитку и ступени, отдельные специальные виды керамической черепицы и т. д.

Практически все эти изделия содержат в качестве основного компонента огнеупорные глины, которые, следуя технологии, необходимо интенсивно перемешивать с большим количеством отощающих и инертных материалов тонкого помола, таких как шамот, чтобы минимизировать усадку и сократить циклы сушки и обжига.



Важно отметить, что качество конечных изделий зависит от надлежащей подготовки сырья: производитель должен достичь идеальной гомогенности смеси, а для этого основополагающим является тонкое измельчение сырья.

Технологическое решение компании «Вердес» предполагает несколько возможных вариантов – как сухой, так и пластический способы подготовки сырья.

• **Сухой способ подготовки сырья:** после первичного дробления молотковой дробилка дает фракцию в регулируемом диапазоне размеров частиц от 0,2 до 0,7 мм в диаметре, с виброситом после нее либо без. Когда требуется более мелкая фракция, например 200 мкм и менее, устанавливается маятниковая мельница с воздушным классификатором, без традиционных сит.

• **Пластический способ подготовки сырья:** после первичного и вторичного дробления устанавливаются две валковые мельницы «Оптим» для измельчения под высоким давлением методом вальцевания. Первая – с зазором между

валками 1–1,2 мм, последняя – с межвалковым зазором 0,5–0,7 мм.

После того как материалы идеально перемешаны и достигнута гомогенность смеси, их формуют, обычно в горизонтальной плоскости, с помощью экструдера «Экзакта». Это – новая специализированная линейка шнековых вакуумных прессов «Вердес». Имея беспрецедентно высокий уровень цифровизации, они полностью подготовлены к работе при давлении формования в 50 бар.

Предварительные испытания свойств сырья

Лаборатория «Вердес» оснащена всем необходимым оборудованием, позволяющим проводить испытания по измельчению керамического сырья. Для этого имеются такие машины, как дезинтеграторные (ребристые) вальцы, гладкие вальцы, молотковая дробилка, маятниковая мельница и смеситель.



Лабораторный пресс собственной разработки позволяет формировать изделия при давлении до 50 бар. Также есть все необходимое измерительное оборудование и оборудование для испытаний полученных образцов, от сырца до обожженного изделия.

Данный сервис позволяет производителям керамики подобрать наиболее подходящий способ измельчения и определить режимы формовки, заранее получив представление о характеристиках и качестве будущей конечной продукции при работе в промышленных масштабах.

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

УДК 679.7.052.17:666.7

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-25-28>

В.Ю. КУЗЬМИН, директор

ООО «Хендле Урал» (454138, Челябинская область, г. Челябинск, Комсомольский пр., 39б, 141)

Износ рабочих поверхностей экструдеров в керамической промышленности

Глиняное сырье, будучи высокоабразивным материалом, способствует сильному износу рабочих органов экструдера, главным образом шнеков, что, в свою очередь, сказывается на качестве бруса и эксплуатационных расходах на обслуживание формующей машины. В статье проанализированы результаты изучения рабочих органов шнековых экструдеров в условиях эксплуатации с различными видами защитных покрытий, применяемых ООО «Хендле Урал». Выявлено влияние геометрии шнека на качество формируемого бруса и конечных изделий. Опыт работы цеха ООО «Хендле Урал» по восстановлению шнеков доказывает важность профессионального и высокотехнологичного подхода к бронированию шнеков износостойкими материалами. Получены качественные значения зависимости эксплуатационных расходов на восстановление быстроизнашивающихся частей экструдера от качества нанесения защитных материалов.

Ключевые слова: шнек, экструдер, износ, восстановление шнеков, бронирование шнеков, запасные части.

ООО «Хендле Урал» выражает благодарность своим клиентам и партнерам за помощь в сборе данных по эксплуатации экструдеров.

Для цитирования: Кузьмин В.Ю. Износ рабочих поверхностей экструдеров в керамической промышленности // *Строительные материалы*. 2021. № 4. С. 25–28. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-25-28>

V.Yu. KUZMIN, Director

LLC "Hendle Ural" (141, 39b Komsomolsky Prospect, Chelyabinsk, Chelyabinsk Oblast, 454138, Russian Federation)

Wear of the Working Surfaces of Extruders in the Ceramic Industry

Clay raw materials, being a highly abrasive material, contribute to the strong wear of the working parts of the extruder, mainly the screws, which in turn affects the quality of the beam and the operating costs for the maintenance of the forming machine. The article analyzes the results of studying the working bodies of screw extruders under operating conditions with various types of protective coatings used by "Handle Ural" LLC, and shows the influence of the screw geometry on the quality of the molded timber and final products. The experience of the workshop of LLC "Handle Ural" in the restoration of screws proves the importance of a professional and highly technological approach to the booking of screws with wear-resistant materials. The qualitative values of the dependence of the operating costs for the restoration of the fast-wearing parts of the extruder on the quality of the application of protective materials are obtained.

Keywords: screw, extruder, wear, screw restoration, screw reservation, spare parts.

LLC "Handle Ural" expresses its gratitude to its customers and partners for their assistance in collecting data on the operation of extruders.

For citation: Kuzmin V.Yu. Wear of the working surfaces of extruders in the ceramic industry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials], 2021. No. 4, pp. 25–28. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-25-28>

Износ рабочих органов агрегатов в керамической промышленности является одной из наиболее актуальных проблем, особенно в движущихся частях аппаратов массоподготовки. Износ – изменение размеров, формы, состояния поверхности шнека вследствие разрушения (изнашивания) поверхностного слоя при трении. В керамической промышленности в основном наблюдается абразивный износ, сущность которого заключается в разрушении металла шнека твердыми (абразивными) зёрнами массы при пластическом деформировании и микрорезании трущихся поверхностей [1–4].

Износ шнека экструдера приводит не только к снижению его функциональности, но и к уменьшению производительности, увеличению расхода электроэнергии и, самое главное, резкому снижению качества бруса, что в свою очередь увеличивает долю брака после сушки и обжига. Поэтому вопрос повышения износостойкости рабочих органов экструдера наиболее успешно может решаться только на основе анализа работы машины в процессе эксплуатации.

Для проведения такого анализа в работе использовалась методика, разработанная В.В. Коротеевым [5] в рамках его исследований работоспособности и надежности шнековых прессов для керамических изделий в условиях эксплуатации. В соответствии с данной методикой структурировано распределение фонда рабочего времени на бронирование (восстановление) быстроизнашивающихся частей пресса, так называемые цикловые потери, и потери времени из-за простоев пресса при замене рабочих органов (внецикловые потери).

Методом систематического наблюдения с заполнением актов простоев экструдеров клиентов ООО «Хендле Урал», используя данные по нагрузке на двигатель пресса, формовочной влажности, давлению в головке пресса, скорости бруса и др., была собрана информация о потерях времени по восстановлению и замене рабочих органов экструдера.

Полученные данные статистически обрабатывались в соответствии с РД 22–37–80.

Как известно, скорость износа частей экструдера зависит от нескольких факторов:

- свойств шихты;
- геометрии шнека;

• материала и технологии нанесения защитного покрытия.

Изучение и учет этих факторов в совокупности позволяют подобрать вид материалов для эффективного защитного покрытия шнека.

Свойства шихты

Предприятия, на которых собирались и анализировались данные по работе экструдеров, работают с шихтами различной абразивности. Условно эти шихты можно разделить на следующие группы:

1. Среднепластичное сырье, формовочная влажность 18–20%, содержание отошающих добавок (песок, гранулированный шлак) менее 10%.

2. Среднепластичное сырье, формовочная влажность 16%, содержание отошающих добавок более 10%.

3. Низкопластичное сырье, формовочная влажность 18–20%, содержание отошающих добавок менее 10%.

Максимальный абразивный износ наблюдается у оборудования предприятий, работающих с шихтой второй группы, на этих предприятиях в основном производится полнотелый кирпич и изделия с пониженной пустотностью, что по В.В. Коротееву является фактором, увеличивающим межремонтный цикл.

Геометрия шнека

Геометрия шнека имеет решающее значение для получения качественного бруса. Подбор геометрии шнека осуществляется по следующим основным факторам:

- а) свойства сырья;
- б) номенклатура выпускаемой продукции;
- в) диаметр шнековой камеры;
- г) длина шнековой камеры;

- д) скорость вращения шнекового вала;
- е) мощность двигателя экструдера.

При расчете геометрии шнека, а также при восстановлении шнеков должны учитываться параметры, приведенные на рис. 1 и в табл. 1.

Часто при восстановлении шнеков непосредственно на предприятии геометрия шнека искажается: шаг и коэффициент угла подъема винтовой линии изменяются. Это связано, во-первых, с отсутствием контроля геометрии, в том числе с отсутствием специальных станков и измерительных инструментов, а во-вторых, с отсутствием оригинальных чертежей шнеков (особенно это касается экструдеров импортного производства).

Нарушения в геометрии шнека могут приводить к таким последствиям, как повышенная пульсация и снижение механической прочности изделий (табл. 2 и рис. 2 – из обследования производства кирпичного завода N).

График рис. 2 демонстрирует расхождение по прочности при изгибе образцов, сформованных подряд на экструдере с нарушенной геометрией шнека.

Материал и технология нанесения защитного покрытия

Покрытиями для защиты рабочих органов пресса являются карбиды хрома, кремния и вольфрама. Карбид вольфрама, имеющий самую высокую твердость и стоимость, применяется в основном для защиты торцевых поверхностей шнека.

Данные покрытия являются высокотемпературными и требуют специального оборудования для их качественного нанесения. Заводы, производящие брони-

**Таблица 1
Table 1**

**Параметры геометрии шнека
Auger geometry parameters**

Параметр	Обозначение
Диаметр цилиндра, мм	D
Диаметр шнека, мм	D
Диаметр ступицы, мм	d
Коэффициент диаметра ступицы/шнека	d/D _s
Угол начального конуса (полный оборот 360°)*, мм	S
Средний угол начального конуса**	Bm
Толщина пера, мм	f
Количество звеньев шнека	n
Длина цилиндра, мм	L
Параметр для повышения давления: длина цилиндра, диаметр цилиндра	L/D
Промежуток между шнеком и стенкой цилиндра, мм	a
Расстояние между ступицей и стенкой цилиндра, мм	h
Подача массы, м ³ /ч	Q _s
Обратный отток по шнековому каналу, м ³ /ч	Q _d
Обратный отток между шнеком и стенкой цилиндра, м ³ /ч	Q _l
* Концевой шнек может быть прямым, обратным и цилиндрическим.	
** Так как угол начального конуса изменяется с расстоянием от ступицы, изменения должны касаться внутреннего, среднего и внешнего углов начального конуса.	

**Таблица 2
Table 2**

**Прочностные показатели исследуемых образцов
Strength indicators of the test samples**

Образец	Прочность при изгибе, МПа	
	брус 1	брус 2
1	1,3	1,3
2	1,6	1,6
3	1	1,6
4	1,3	2,3
5	1,3	1
6	1,9	1,6
7	0,6	1,9
8	2,3	1,3
9	1	1
10	1	1,6
11	1,3	2,6
12	1,6	1,9
13	1,6	1
Средний	1,4	1,6
Средний*	1,35	1,64
Минимальный	1	1
* Среднее значение прочности без результатов, отличающихся от среднего более чем на 50% (по ГОСТ 8462–85).		

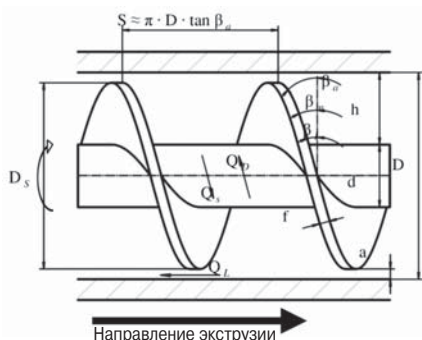


Рис. 1. Диаграммный вид с обозначением геометрии шнека

Fig. 1. Diagrammatic view with the designation of the geometry of the screw

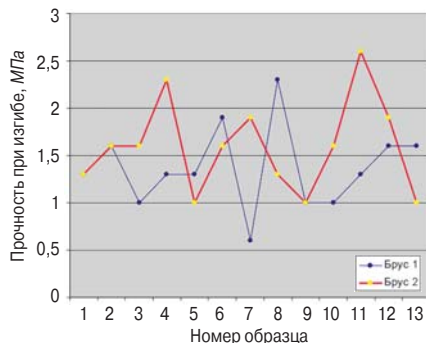


Рис. 2. Механическая прочность образцов при различном износе шнека

Fig. 2. Mechanical strength of samples

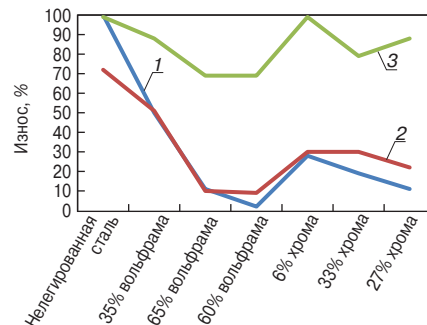


Рис. 3. Взаимосвязь между скоростью износа шнеков и материалами поверхности шнека: 1 – шероховатость; 2 – твердость HRC; 3 – износ, %

Fig. 3. The relationship between the rate of wear of the screws and the roughness of their surface: 1 – roughness; 2 – hardness, HRC; 3 – wear, %

рование шнеков своими силами, такого оборудования зачастую не имеют. Порошковую проволоку можно наплавить обычным полуавтоматом достаточной мощности, но для получения качественной адгезии карбидного слоя с основным металлом необходимо соблюдение множества других параметров, а не только силы тока. Именно поэтому поверхности шнека, восстановленные одними и теми же материалами, но с использованием профессионального оборудования и обычными полуавтоматами, имеют разную степень износостойкости и разную скорость износа.

В подборе наплавочных материалов тоже есть ряд нюансов. На рынке представлено много предложений по карбидам хрома, кремния, вольфрама. Разница заключается в матрице, на которой держатся эти карбиды. Эти матрицы также имеют различную твердость и износостойкость, и соответственно требуется подбор материала исходя из свойств используемого сырья.

Также большое значение имеет и форма зерна карбида. В частности, для защиты торцевой поверхности шнека HÄNDLE GmbH ООО «Хендле Урал» применяет карбид вольфрама со сферической формой зерна. Это снижает вращение и нагрев массы в шнековом цилиндре, что в свою очередь уменьшает расход электроэнергии. Применение карбидов вольфрама с треугольной формой зерна для наплавки скребков значительно улучшает их чистящие свойства.

После наплавки соединения на поверхность шнека следующая важная операция – шлифовка. На всех заводах, самостоятельно производящих восстановление частей оборудования, эта операция не производится. Однако шлифовка экономит 15–20% электроэнергии при работе пресса на обновленных шнеках, что при двигателях мощностью больше 100 кВт является существенным преимуществом. Опыт компании ZMB BRAUN показывает, что шлифовка поверхности шнека оказывает положительное влияние на качество бруса.

Существует также взаимосвязь между скоростью износа шнеков и шероховатостью их поверхности (рис. 3). Чем больше шероховатость, тем скорость износа выше, так как выемки на наплавленной поверхности создают очаги разрушения, что ускоряет процесс абразивного износа. Поэтому очень важно про-

извести шлифовку наплавленной поверхности шнека зерном определенной крупности.

Таким образом, увеличению срока службы поверхности шнека способствуют как применение материалов с высокой износостойкостью, так и конструктивные решения, обеспечивающие компенсацию износа, резервирование износостойкости, общее улучшение условий трения, т. е. защиты от абразивного воздействия.

Анализ баланса затрат фонда времени на ремонт и восстановление рабочих органов пресса

По результатам проведенных наблюдений за работой экструдеров клиентов ООО «Хендле Урал» были получены усредненные данные баланса производительности и трудоемкости восстановления и ремонта быстроизнашивающихся частей пресса. Анализ затрат фонда времени и производительности показывает, что самые большие потери связаны с недостаточной долговечностью рабочих органов пресса у тех предприятий, которые самостоятельно проводят восстановление быстроизнашивающихся частей, даже применяя при этом качественные материалы. Величина простоев экструдера по причине ремонта рабочих органов составляет до 60% от общей величины простоев машины. Годовые затраты на ремонт и замену рабочих органов достигают 20–25% от стоимости экструдера. Отметим, что в исследованиях В.В. Коротеева, проводимых в 1980-е гг., эти цифры достигали 68,1 и 35% соответственно. Снижение показателей явно связано с более высоким качеством современных наплавочных материалов. Несложно посчитать, какая экономия будет достигнута в случае повышения долговечности рабочих органов в 1,5 раза.

Также полученные данные позволили сделать вывод, что эксплуатация быстроизнашивающихся деталей до предельных износов почти в два раза увеличивает расходы на восстановление, т. е. своевременный ремонт обходится дешевле.

Выводы

Анализ данных, предоставленных клиентами ООО «Хендле Урал» по работе экструдеров, позволяет сделать следующие выводы.

1. Затраты предприятия на ремонт и замену рабочих органов экструдера являются самыми значимыми в сумме эксплуатационных расходов на машину, достигая в год 20–25% от стоимости пресса. Простой экструдера составляет порядка 60% от общих простоев машины, вызванных другими техническими или технологическими причинами.

Список литературы

1. Севостьянов М.В., Дубинин Н.Н., Михайличенко С.А. Исследование условий движения шихты в пресс-валковом экструдере // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2005. № 1 (553). С. 120–124.
2. Ильевич А.П. Исследование влияния конструктивных параметров основных деталей ленточного пресса на эффективность его работы // Дис. ... канд. техн. наук. 1954.
3. Парке Д.К., Хил М.Д. Проектирование шнеков и характеристические управления ленточных прессов // *Журнал Американского керамического общества*. 1959. № 1.
4. Фадеева В.С., Рост П.П. Формующие органы ленточного пресса // *Стекло и керамика*. 1956. № 7. С. 16–23.
5. Коротеев В.В. Повышение работоспособности шнековых прессов для керамических изделий. Дис. ... канд. техн. наук. Гатчина, 1985. 192 с.

2. Ремонт и восстановление рабочих органов пресса на профессиональном оборудовании и с использованием качественных материалов способны минимум в 1,5 раза увеличить межремонтный цикл.

3. Расход электроэнергии при формовании на изношенных шнеках увеличивается до 40 %, а на новых шнеках без операции шлифовки – до 15–20%.

References

1. Sevostyanov M.V., Dubinin N.N., Mikhailichenko S.A. Investigation of the conditions of the charge movement in the press-roll extruder. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2005. No. 1 (553), pp. 120–124. (In Russian).
2. Ilyevich A.P. Investigation of the influence of design parameters of the main parts of a paddle belt press on the efficiency of its work. Dis ... Candidate of Sciences (Engineering). 1954. (In Russian).
3. Parke D.C., Hill M.D. Screw design and characteristic controls for belt presses. *Journal of the American Ceramic Society*. 1959. No. 1. (In Russian).
4. Fadeeva V.S., P.P. Forming organs of the belt press. *Steklo i Keramika*. 1956. No. 7, pp. 16–23. (In Russian).
5. Koroteev V.V. Improving the performance of screw presses for ceramic products. Dis ... Candidate of Sciences (Engineering), 1985. 192 p. (In Russian).

Изготовление, восстановление и бронирование шнеков



Наплавка материалами из Германии по технологии HÄNDLE GmbH

- ULTRA — полное бронирование лопастей и ступицы
- SUPRA — частичное бронирование

Оптимизация геометрии шнека для всех типов экструдеров.

Подбор геометрии в зависимости от сырья и номенклатуры.

Для экструдеров HÄNDLE изготовление и бронирование по оригинальным чертежам

- Снижение расхода электроэнергии
- Повышение КПД экструдера и качества формования

Изготовление скребков, лопаток



- Твердость ± 3000HV
- Длина до 1500 мм



454112, Российская Федерация, г. Челябинск, Комсомольский проспект,
д. 39, корпус Б, офис 141
тел: 8 (351) 219-85-35
e-mail: haendle.ural@gmail.com

HÄNDLE
УРАЛ

РЕКЛАМА

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 Manufactures of
Machinery and Equipment for Ceramics



WITH THE SUPPORT OF



Ministry of Foreign Affairs
and International Cooperation

ITCA 
ITALIAN TRADE AGENCY

А.В. КОТЛЯР, канд. техн. наук (toss871@gmail.com),
С.Н. КУРИЛОВА, канд. техн. наук (svet.curilova@yandex.ru),
Р.А. ЯЩЕНКО, инженер кафедры (roma.8929@mail.ru)

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

Обоснование необходимости обеспечения соответствия нормативных требований для мелкоштучных дорожных изделий

Проанализированы нормативные требования к свойствам дорожного клинкерного кирпича и тротуарной бетонной плитки. Выявлено расхождение как в показателях нормируемых свойств, так и в их численных значениях. Поставлена задача приведения в соответствие нормативных требований к дорожному клинкерному кирпичу и тротуарной плитке с учетом реальных условий их эксплуатации. Анализируются такие свойства клинкерного кирпича и тротуарной плитки, как прочность при сжатии и при изгибе, истираемость, водопоглощение, кислотостойкость и морозостойкость. Рассмотрен подход к методу испытания мелкоштучных дорожных изделий на морозостойкость. Выявлены недостатки принятого метода испытания клинкерного кирпича на морозостойкость с учетом особенностей кирпича. Проанализирован характер разрушения клинкерного кирпича и тротуарной плитки, находящихся в реальных условиях эксплуатации в насыщенном водой состоянии при замораживании и оттаивании. Обнаружено несоответствие принятых нормативных условий испытания клинкерного кирпича на морозостойкость эксплуатационным условиям и обосновывается необходимость введения альтернативного метода испытания кирпича на морозостойкость. Предлагается разработка нового метода оценки морозостойкости для дорожного клинкерного кирпича и тротуарной плитки.

Ключевые слова: клинкерный кирпич, тротуарная плитка, прочность, морозостойкость, метод испытания.

Для цитирования: Котляр А.В., Курилова С.Н., Ященко Р.А. Обоснование необходимости обеспечения соответствия нормативных требований для мелкоштучных дорожных изделий // *Строительные материалы*. 2021. № 4. С. 30–35.
DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-30-35>

A.V. KOTLYAR, Candidate of Sciences (Engineering) (toss871@gmail.com), S.N. KURILOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (svet.curilova@yandex.ru), R.A. YASHENKO, engineer of the department (roma.8929@mail.ru)
Don State Technical University (1, Gagarin Square, 344000, Rostov-on-Don, Russian Federation)

Justification of the Need to Ensure Compliance of Regulatory Requirements for Small-Piece Road Products

The regulatory requirements for the properties of road clinker bricks and paving concrete tiles are analyzed. The discrepancy is revealed both in the indicators of the normalized properties and their numerical values. The task is to bring into compliance the regulatory requirements for road clinker bricks and paving tiles, taking into account the actual conditions of their operation. Such properties of clinker bricks and paving tiles as compressive strength, bending strength, abrasion resistance, water absorption, acid resistance and frost resistance are analyzed. An approach to the method of testing small-piece road products for frost resistance is considered. The disadvantages of the accepted method of testing clinker bricks for frost resistance, taking into account the features of the brick, are revealed. The nature of the destruction of clinker bricks and paving tiles, which are in real operating conditions in a water-saturated state during freezing and thawing, is analyzed. The discrepancy of the accepted regulatory conditions for testing clinker bricks for frost resistance to the operational conditions is found, and the need to introduce an alternative method for testing bricks for frost resistance is justified. It is proposed to develop a new method for assessing frost resistance for road clinker bricks and paving tiles.

Keywords: clinker brick, paving tiles, strength, frost resistance, test method.

For citation: Kotlyar A.V., Kurilova S.N., Yashenko R.A. Justification of the need to ensure compliance of regulatory requirements for small-piece road products. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 4, pp. 30–35. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-30-35>

Благоустройство среды обитания человека — актуальная задача современного городского и сельского строительства. Современными элементами благоустройства являются мелкоштучные дорожные изделия — дорожный клинкерный кирпич и бетонная тротуарная плитка. Они обладают определенными эксплуатационными и декоративными свойствами. К эксплуатационным свойствам относятся средняя плотность, прочность, водопоглощение, истираемость и морозостойкость, а к декоративным — разнообразная форма изделий, фактура поверхности и окраска. Сочетание в дорожном покрытии изделий

разной формы и цветовой гаммы создает красивый облик пешеходных дорожек, тротуаров, дорог и площадей (рис. 1) [1–4]. Дорожные изделия должны иметь большой срок использования, что зависит от структуры материала и эксплуатационных свойств изделий.

Эксплуатационные характеристики изделий контролируются нормативными документами. В настоящее время на клинкерный кирпич существуют следующие нормативные документы: ГОСТ 32311–2012 «Кирпич керамический клинкерный для мощения» и EN 771-1–2009, ТБ 1787–2007 «Кирпич керамиче-



Рис. 1. Клинкерный кирпич на тротуарах и дорогах г. Ростова-на-Дону
Fig. 1. Clinker bricks on sidewalks and roads of Rostov-on-Don



ский клинкерный. Технические условия», а на тротуарную плитку – ГОСТ 17608–2017 «Плиты бетонные тротуарные. Технические условия».

Клинкерный кирпич должен соответствовать требованиям ГОСТ 32311–2012 и иметь предел прочности при изгибе более 7,5 МПа, среднюю плотность более 2100 кг/м³, водопоглощение менее 2,5%, марку по морозостойкости более F200, кислотостойкость более 95% и истираемость менее 1,5 г/см².

Тротуарная плитка в соответствии с ГОСТ 17608–2017 должна иметь класс бетона по прочности при сжатии В22,5; В25; В30; В35; класс бетона по прочности на растяжение при изгибе В_{ВТВ} 3,2, В_{ВТ} в 4,4; среднюю плотность более 2200 кг/м³; водопоглощение не более 5–6% (по массе) и марку по морозостойкости F100–F300, а истираемость в соответствии с ГОСТ 13015–2012 не более 0,7–0,9 г/см².

Сопоставление нормативных требований к свойствам дорожного клинкерного кирпича и тротуарной плитки показывает расхождение как в самих показателях свойств, так и в их численных значениях. Так, к клинкерному кирпичу не предъявляется требование по прочности при сжатии, а к тротуарной плитке – требование по кислотостойкости, хотя оба вида изделий находятся в одинаковых условиях эксплуатации. Эти условия характеризуются воздействием на изделия нагрузки на сжатие и растяжение при изгибе, истирания, попеременного увлажнения и высушивания, перепада температуры, в том числе перепада температуры через 0°С, агрессивных сред – солей и кислот, углекислого газа воздуха и солнечной радиации. Изделия находятся в довольно суровых условиях эксплуатации, и их все необходимо учитывать и нормировать требования к ним.

Актуальной задачей является приведение в соответствие нормативных требований к дорожному клинкерному кирпичу и тротуарной плитке как в области показателей свойств, так и их численных значений. Решение этой задачи предполагает проведение комплексных исследований свойств дорожного клинкерного кирпича и тротуарной плитки в соот-

ветствии с их реальными условиями эксплуатации и обеспечения долговечности.

Авторами и другими исследователями были проведены многочисленные эксперименты по оценке свойств дорожного клинкерного кирпича и тротуарной плитки и анализ их эксплуатационных свойств и нормативных требований к ним [5–10]. В ходе проведенной работы были установлены недостатки существующих нормативных документов на дорожный клинкерный кирпич и тротуарную плитку.

Прочность при сжатии для дорожного клинкерного кирпича не нормируется, несмотря на то что он является элементом мощения тротуаров и дорог и непосредственно воспринимает воздействие нагрузки при сжатии. Величина этой нагрузки может быть разная. Это может быть нагрузка, возникающая при движении пешеходов, автотранспорта и погрузочных механизмов. От величины этой нагрузки будет зависеть сопротивляемость материала, его целостность и долговечность. В реальности бывает следующее. Клинкерный кирпич отвечает нормам по прочности при изгибе, но имеет недостаточную прочность при сжатии и быстро разрушается. Поэтому, по мнению авторов, должно быть введено нормативное требование к прочности клинкерного кирпича при сжатии, оцениваемое классами.

Прочность при изгибе для клинкерного кирпича согласно ГОСТ 32311–2012 должна быть не менее 7,5 МПа, хотя на самом деле она значительно выше. Клинкерный кирпич в сравнении с тротуарной плиткой разрушается гораздо реже. По мнению авторов, требования по прочности при изгибе для клинкерного кирпича должны быть повышены и численные значения актуально и целесообразно разделить на классы в зависимости от условий эксплуатации – пешеходная зона, автостоянка и т. д.

Истираемость клинкерного кирпича нормируется не более 1,5 г/см², а истираемость тротуарной плитки не более 0,7–0,9 г/см², хотя изделия находятся в одинаковых условиях эксплуатации. Как показывает практика, клинкерный кирпич всегда соответствует

требованиям по истираемости, чего нельзя сказать о бетонной тротуарной плитке, хотя требования к ней выше. Более высокая устойчивость клинкерного кирпича к истиранию объясняется тем, что кирпич получается путем обжига, а тротуарная бетонная плитка — это безобжиговый материал. Минеральная связка, которая образуется при обжиге кирпича, более твердая и прочная, чем цементный камень, который получается при твердении тротуарной плитки. Поэтому истираемость у бетонной тротуарной плитки больше, чем у клинкерного кирпича и требование к ее истираемости жестче. Необходимо привести в соответствие требование к истираемости для дорожного клинкерного кирпича и тротуарной плитки.

Водопоглощение дорожного клинкерного кирпича должно быть не более 2,5%. Это более жесткое требование по сравнению с требованием к водопоглощению тротуарной бетонной плитки, которое должно быть не более 5–6%. Как показывает практика, тротуарная плитка, имея нормативное водопоглощение, может обладать небольшой морозостойкостью и быть недолговечной. Дорожный клинкерный кирпич по сравнению с тротуарной плиткой, как правило, обладает более высокой морозостойкостью и долговечностью, измеряемой столетиями. Целесообразно пересмотреть требование к водопоглощению дорожного клинкерного кирпича и тротуарной плитки.

Кислотостойкость дорожного клинкерного кирпича должна быть не менее 95%, а к тротуарной плитке это требование не предъявляется, хотя изделия находятся в одинаковых условиях эксплуатации. Необходимо ввести требование по устойчивости к агрессивным средам для тротуарной плитки, хотя цементные материалы в принципе не являются кислотостойкими.

Морозостойкость определяет срок службы дорожных изделий. Дорожный клинкерный кирпич и тротуарная плитка постоянно попеременно увлажняются и высушиваются, замораживаются и оттаивают в насыщенном водой состоянии и испытывают воздействие агрессивных сред (рис. 2). Поэтому чем выше морозостойкость изделий, тем больше их долговечность, что особенно важно для дорожных изделий.

Марка по морозостойкости дорожного клинкерного кирпича должна быть не менее F200, а тротуарной плитки F100–F300. Требование к более высокой марке по морозостойкости для дорожного кирпича согласуется с требованием меньшего водопоглощения кирпича не более 2,5% по сравнению с тротуарной плиткой, для которой требование по морозостойкости предъявляется при водопоглощении не более 5–6%. Требование к морозостойкости тротуарной плитки менее жесткое. Как показывает практика, тротуарная плитка чаще разрушается, чем дорожный кирпич, поэтому целесообразно пересмотреть требования к марке по морозостойкости для тротуарной плитки.

Важным моментом является подход к методу испытаний дорожных изделий на морозостойкость.

В настоящее время испытания клинкерного кирпича на морозостойкость необходимо проводить по



Рис. 2. Практические условия использования штучных дорожных изделий
Fig. 2. Practical conditions for the use of piece road products



Рис. 3. Испытание дорожного клинкерного кирпича на морозостойкость по ГОСТ 7025–91 методом объемного замораживания
Fig. 3. Testing of road clinker bricks for frost resistance according to GOST 7025–91 by the volumetric freezing method



Рис. 4. Состояние дорожного клинкерного кирпича при лабораторных испытаниях на морозостойкость
Fig. 4. Condition of road clinker bricks during laboratory tests for frost resistance

ГОСТ 7025–91 «Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости». Испытания нужно проводить методом объемного замораживания (рис. 3).

По мнению авторов, принятый метод испытаний имеет некоторые недостатки. Во-первых, иногда кирпич выдерживает испытания в лабораторных условиях (рис. 4) и показывает марку по морозостойко-

сти F200 и более, а в дорожном покрытии при реальных условиях эксплуатации он разрушается.

Во-вторых, испытания по морозостойкости по данному методу оказываются очень длительными и могут занимать месяцы. Это затрудняет оценку качества изделий и быстрое принятие решений по совершенствованию их технологии производства.

В-третьих, метод объемного замораживания, вероятно, более подходит для стеновых изделий, чем для дорожных.

Данный метод не учитывает следующие особенности дорожного клинкерного кирпича. Во-первых, дорожный клинкерный кирпич длительное время находится в насыщенном водой состоянии в сочетании с агрессивным воздействием солей и переходом через 0°C из области положительной в область отрицательной температуры. Во-вторых, клинкерный кирпич обладает довольно высокой пористостью, которая составляет около 15–20%. В-третьих, водопоглощение кирпича по объему невысокое и составляет 2,5–7%. При таком соотношении пористости и водопоглощения по объему существует большой резерв условно замкнутых пор, не заполненных водой. В-четвертых, кирпич выдерживает лабораторные испытания на морозостойкость, а в реальных условиях эксплуатации бывает разрушается.

Анализируя результаты испытания клинкерного кирпича на морозостойкость и его особенности, можно предположить следующий характер разрушения кирпича в соответствии с теорией долговечности [4–6]. При испытании методом объемного замораживания кирпич насыщается водой и замораживается в воздушной среде. При понижении температуры в ходе замораживания кирпича часть воды, оставшейся в жидком состоянии, испаряется. Учитывая, что часть условно замкнутых пор не заполняются водой и, кроме того, еще происходит испарение воды при замораживании, получается, что кирпич при испытании оказывается не полностью водонасыщенным. Для стеновых изделий, которые в процессе эксплуатации никогда полностью не насыщаются водой, это не критично и метод оценки морозостойкости является достаточно объективным. Когда же рассматривается дорожный клинкерный кирпич, часто, особенно осенью и зимой, он находится полностью в воде. Кирпич постепенно впитывает в себя воду, обладая высокой величиной пористости за счет перепада температуры, и водопоглощение его становится больше, чем при лабораторных испытаниях. Проведенные авторами эксперименты с поэтапным водонасыщением кирпича показывают, что вода постепенно проникает в условно замкнутые поры, водопоглощение возрастает и при испытании на морозостойкость такой кирпич начинает разрушаться быстрее.

Несоответствие принятых нормативных условий испытания клинкерного кирпича на морозостойкость эксплуатационным условиям требует введения альтернативного метода испытания. Более целесо-

образно проводить испытания дорожного клинкерного кирпича на морозостойкость по ГОСТ 10060–2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости». Данный нормативный документ определяет два метода испытаний: базовый второй F2 и ускоренный третий для дорожных бетонов.

Методика базового второго F2 метода заключается в насыщении образцов в 5%-м водном растворе хлорида натрия, их замораживании в воздушной среде при температуре $18 \pm 2^\circ\text{C}$ и оттаивании в 5%-м водном растворе хлорида натрия.

Методика третьего ускоренного метода определения морозостойкости заключается также в насыщении образцов в 5%-м водном растворе хлорида натрия, но замораживание должно проходить в растворе хлорида натрия при температуре минус $50 \pm 2^\circ\text{C}$, а последующее оттаивание образцов также в растворе хлорида натрия.

Третий ускоренный метод определения морозостойкости более близок к условиям эксплуатации дорожного клинкерного кирпича и тротуарной плитки. Во-первых, условия испытания изделий приближены к реальным условиям их эксплуатации. Во-вторых, морозостойкость изделий по этому методу для марки F200 можно определить за несколько суток по сравнению с месяцами по существующей методике испытаний.

Метод определения морозостойкости мелкоштучных дорожных изделий должен учитывать следующие особенности:

- насыщение изделий при испытании нужно проводить раствором соли, хотя температура замерзания 5%-го раствора хлорида натрия составляет около минус 3°C , что не сильно отличается от температуры замерзания обычной воды;

- при замораживании кирпич должен полностью находиться в растворе;

- возможно есть, а возможно, и нет необходимости в температуре замерзания минус 50°C .

Эксперименты по сопоставимости результатов испытаний клинкерного кирпича на морозостойкость разными методами позволяют сделать следующие выводы: во-первых, необходимо проведение параллельных экспериментальных исследований в независимых аккредитованных лабораториях для набора и обработки статистических данных; во-вторых, необходимо широкое обсуждение получаемых результатов испытаний; в-третьих, результаты испытаний должны лечь в основу комплексной методики оценки морозостойкости, учитывающей как условия эксплуатации, так и структурные особенности мелкоштучных дорожных изделий.

Проведенное авторами обоснование необходимости обеспечения соответствия нормативных требований для мелкоштучных дорожных изделий предполагает обсуждение данного вопроса в открытой печати и разработку нового метода оценки морозостойкости для дорожного клинкерного кирпича и тротуарной плитки.

Список литературы

1. Езерский, В.А. Клинкер. Технология и свойства // *Строительные материалы*. 2011. № 4. С. 79–81.
2. Котляр В.Д., Терёхина Ю.В., Котляр А.В., Ященко Р.А., Попов Ю.В. Особенности применения дорожного клинкерного кирпича светлого цвета // *Строительные материалы*. 2019. № 4. С. 44–49. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-769-4-44-49>.
3. 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>
4. Котляр А.В. История производства, дизайн и значение клинкерного кирпича в современном строительстве. В сборнике статей XX национальной научно-практической конференции по направлению «Технология художественной обработки материалов». Донской государственный технический университет. 2017. С. 67–70.
5. Котляр В.Д., Терёхина Ю.В., Котляр А.В. Особенности свойств, применение и требования к клинкерному кирпичу // *Строительные материалы*. 2015. № 4. С. 72–74.
6. Беркман А.С., Мельникова И.Г. Структура и морозостойкость стеновых материалов. М.: Госстройиздат, 1962. 167 с.
7. Bozhko J., Lapunova K., Orlova M., Lazareva Y. Phase and mineralogical transformations of opal clays in the production of ceramic bricks // *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 974 MSF. С. 162–167. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.162>
8. Вербецкий Г.П. Прочность и долговечность бетона в водной среде. М.: Стройиздат, 1976. 128 с.
9. Котляр А.В., Терёхина Ю.В., Котляр В.Д. К вопросу об испытаниях на морозостойкость дорожного клинкерного кирпича. *Труды II научно-практической конференции с международным участием «Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России»*. Новокузнецк, СибГИУ. 2019. С. 94–97.
10. Котляр В.Д., Курилова С.Н. Структурообразование и свойства прессованных цементно-минеральных композитов с добавкой пористого низко-модульного компонента. Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2014. 224 с.
11. Божко Ю.А., Лапунова К.А. Возможности применения кирпича мягкой формовки в воссоздании исторического облика городов. *Строительное материаловедение: настоящее и будущее: Сборник материалов I Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию выдающегося ученого-материаловеда, академика РААСН Юрия Михайловича Баженова*. М., 2020. С. 305–312.
12. Терёхина Ю.В., Котляр А.В., Небежко Ю.И., Небежко Н.И., Котляр В.Д. К вопросу о методах определения долговечности дорожного клинкерного кирпича и бетонной тротуарной плит-

References

1. Yezersky, V. A. Klinker. Technology and properties *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 4. pp. 79–81. (In Russian).
2. Kotlyar V.D., Terekhina Yu.V., Kotlyar A.V., Yashchenko R.A., Popov Yu.V. Features of application of road clinker brick of light color. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. (In Russian). 2019. No. 4, pp. 44–49. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-769-4-44-49>
3. 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>
4. Kotlyar A.V. History of production, design and significance of clinker bricks in modern construction. *In the collection of articles of the XX national scientific and practical conference on the direction "Technology of artistic processing of materials"*. Don State Technical University. 2017, pp. 67–70. (In Russian).
5. Kotlyar V.D., Terekhina Yu.V., Kotlyar A.V. Features of properties, application and requirements to clinker bricks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 4, pp. 72–74. (In Russian).
6. Berkman A.S., Melnikova I.G. *Struktura i morozostoykost' stenovykh materialov* [Structure and frost resistance of wall materials]. Moscow: Gosstroyizdat. 1962. 167 p.
7. Bozhko J., Lapunova K., Orlova M., Lazareva Y. Phase and mineralogical transformations of opal clays in the production of ceramic bricks. *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 974 MSF. С. 162–167. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.162>
8. Verbetsky G.P. Strength and durability of concrete in an aqueous environment [Strength and durability of concrete in the water environment]. Moscow: Stroyizdat. 1976. 128 p.
9. Kotlyar A.V., Terekhina Yu. V., Kotlyar V. D. On the issue of tests for frost resistance of road clinker bricks. *Proceedings of the II scientific and practical conference with international participation "Actual issues of modern construction of industrial regions of Russia"*. Novokuznetsk. 2019, pp. 94–97. (In Russian).
10. Kotlyar V.D., Kurilova S.N. *Strukturoobrazovaniye i svoystva pressovannykh tsementno-mineral'nykh kompozitov s dobavkoy poristogo nizkomodul'nogo komponenta* [Structure formation and properties of pressed cement-mineral composites with the addition of a porous low-modulus component]. Rostov on Don: Rostov State Construction University. 2014. 224 p.
11. Bozhko Yu. A., Lapunova K. A. The possibilities of using soft-molded bricks in recreating the historical appearance of cities. *Construction Materials Science: present and future. Collection of materials of the First All-Russian Scientific Conference dedicated to the 90th anniversary of the outstanding materials scientist, Academician of the Russian Academy of Sciences Yuri Mikhailovich Bazhenov*. Moscow. 2020, pp. 305–312. (In Russian).

- ки. *Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций», посвященной 75-летию заслуженного деятеля науки Российской Федерации, академика РААСН, доктора технических наук, профессора Селяева Владимира Павловича.* 3–5 декабря 2019 г. Саранск. С. 367–374.
13. Котляр А.В., Ященко Р.А. Перспективные технологии производства дорожного клинкерного кирпича. *Сборник научных трудов по материалам национальной научно-технической конференции с международным участием «Эффективные методологии и технологии управления качеством строительных материалов».* Новосибирск, НГАУ. 2021. С. 61–66.
14. Котляр А.В., Небежко Ю.И., Божко Ю.А., Ященко Р.А., Небежко Н.И., Котляр В.Д. Клинкерный кирпич на основе отсевов дробления песчаников Ростовской области // *Строительные материалы.* 2020. № 8. С. 9–15. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-783-8-9-15>
15. Котляр В.Д., Небежко Н.И., Терехина Ю.В., Котляр А.В. К вопросу о химической коррозии и долговечности кирпичной кладки // *Строительные материалы.* 2019. № 10. С. 78–84. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-775-10-78-84>
12. Terekhina Yu.V., Kotlyar A.V., Nebezsko Yu.I., Nebezsko N.I., Kotlyar V.D. On the question of methods for determining the durability of road clinker bricks and concrete paving slabs. *Materials of the All-Russian scientific and technical conference “Durability of building materials, products and structures”, dedicated to the 75th anniversary of the Honored Scientist of the Russian Federation, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor Vladimir Selyaev.* December 3–5, 2019. Saransk, pp. 367–374. (In Russian).
13. Kotlyar A.V., Yashchenko R. A. Perspective technologies of production of road clinker bricks. *Collection of scientific papers based on the materials of the national scientific and technical conference with international participation “Effective methodologies and technologies for quality management of building materials”.* Novosibirsk. 2021, pp. 61–66. (In Russian).
14. Kotlyar A.V., Nebezsko Yu.I., Bozhko Yu.A., Yashchenko R.A., Nebezsko N.I., Kotlyar V.D. Clinker brick based on screenings crushing of sandstones of the Rostov region. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials].* 2020. No. 8, pp. 9–15. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-783-8-9-15>
15. Kotlyar V.D., Nebezsko N.I., Terekhina Yu.V., Kotlyar A.V. On the issue of chemical corrosion and durability of brick masonry. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials].* 2019. No. 10, pp. 78–84. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-775-10-78-84>

Термоимпульс
Сводовые горелки для печей обжига кирпича производства Волгатерм

Волгатерм Инженерно-производственный центр промышленного газоиспользования
Теплотехнические решения

ПОСТАВКА ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧЕЙ ДЛЯ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ОБУЧЕНИЕ НАЛАДКА

СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

ООО «Волгатерм»
официальный дистрибьютор компании АО «Хоневелл»
Тел. (831) 228-57-01, 253-44-83
факс (831) 437-68-91
www.kromschroeder.ru
volgatherm@kromschroeder.ru

kromschroeder **ECLIPSE** **MAXON**
Innovative Thermal Solutions

Итальянская компания Cosmec (Космек) осуществила поставку системы «Flashing» для кирпичного завода «Вышневолоцкая керамика» (Россия)

The Italian company Cosmec has delivered the "Flashing" system for the brick factory "Vyshnevolotskaya Keramika" (Russia)



Вышневолоцкий кирпичный завод (Тверская область, Россия) в настоящее время производит 60 млн шт. высококачественного облицовочного кирпича NF в год с помощью недавно построенной печи для обжига шириной 5,9 м и длиной около 125 м.

Чтобы удовлетворить потребности рынка, руководство завода приняло решение приобрести и установить на печь горелки, работающие с системой «Flashing».

Система «Flashing» позволяет получить окраску поверхности кирпича, которая отличается от цвета полученного при окислительном обжиге: фактически благодаря действию восстановительной атмосферы, создаваемой в печи, оксиды железа, присутствующие на поверхности изделий подвергаются процессу частичного сокращения; происходит частичное образование магнетита и гематита.

Эти оксиды имеют темный цвет и придают материалу более темную окраску. Кроме того, повышение температуры, вызванное системой «Flashing», делает поверхность кирпича более глянцевой и блестящей.

Компания Cosmec была выбрана «Вышневолоцкой керамикой» для полной поставки системы «Flashing», которая устанавливается на печи в комплекте с автоматической регулировкой и устройствами функциональной безопасности.

«Flashing» будет получен благодаря двум группам дополнительных горелок (одна из которых заменяет существующую), размещенных на своде в финальной части зоны обжига. Во время окислительного обжига эти группы будут работать как обычные горелки, а в системе «Flashing» они будут работать при повышенном давлении газа и смогут подавать более высокий расход топлива, ограничивая при этом подачу воздуха для горения до минимума.

Эта функция будет активирована в течение регулируемого времени перед толчком и после толчка. Одновременно будет уменьшено количество воздуха, поступающего из зоны охлаждения печи, ограничивая вентиляторы обратного давления, рекуперации и быстрого охлаждения.

Система будет работать с предварительной настройкой времени и скорости потока вентиляторов, в то время как го-



релки будут регулироваться по температуре, считываемой в зоне воздействия.

Для проверки достижения восстановительной атмосферы в зоне воздействия предусматривается установка непрерывного анализатора O_2 с оксидом циркония.

Система отбора проб дыма в зонах, прилегающих к системе «Flashing», будет проверять количество выделяемого CO продукта и отсутствие несгоревших газов в трубопроводах, поскольку остатки таких газов могут быть опасны и токсичны.

Вся система работает в автоматическом режиме и создает условия, позволяющие получить наилучшие результаты.

COSMEC S.r.l.

Via. T. A. Edison, 24
37136 – Verona (VR) – Italy
Direct Phone: +39 045 232 2635
Phone: +39 045 232 2611
Fax: +39 045 232 692

COSMEC
in cooperation with **SACMI**

Ю.А. БОЖКО, инженер (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)

Проблемы регламентации терминологии brick-дизайна и области его применения

Рассмотрен вопрос комплексного подхода к дизайну и технической эстетике архитектурно-пространственной среды современных городов. В керамической отрасли остро стоит вопрос единой утвержденной терминологии, особенно касающейся эстетических параметров лицевого кирпича. Названия цветов кирпича, его поверхностей и типов формования не имеют единых и нормативно закрепленных терминов. Производители вправе давать названия коллекциям производимого лицевого кирпича, основываясь на собственных предпочтениях и совокупности некоторых факторов. В связи с этим возникают проблемы с унификацией номенклатуры на сайтах и в программном обеспечении компаний дистрибьюторов и дилеров. Предложенная система brick-дизайна содержит в себе пять основных эстетических характеристик кирпичной кладки: цвет, фактура, формат, шов и тип кладки, каждая из которых имеет несколько уровней сложности. Определены наиболее объективно значимые характеристики и их уровни сложности, в наибольшей степени влияющие на визуальное восприятие кирпичной кладки. Рассмотрено влияние цвета кирпича и цвета шва на общий вид кирпичной кладки. Структурирование и комбинаторика эстетических характеристик, влияющих на художественную выразительность кирпичной кладки, выражены в уровнях brick-дизайна. Описана последовательность и сформулирована методика оценки характеристик brick-дизайна, использование которой может быть полезно при рыночной оценке уже построенных зданий, при их проектировании и на стадии выбора облицовочного материала, а также может способствовать закреплению единой терминологии эстетических характеристик кирпича и кирпичных кладок.

Ключевые слова: кирпич, кладка, эстетика, уровень, эстетическая характеристика, brick-дизайн.

Для цитирования: Божко Ю.А., Лапунова К.А. Проблемы регламентации терминологии brick-дизайна и области его применения // *Строительные материалы*. 2021. № 4. С. 37–41. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-37-41>

Yu.A. BOZHKO, Engineer (ovdun_ys@mail.ru), K.A. LAPUNOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (keramik-kira@mail.ru)
Don State Technical University (1, Gagarin Square, 344000, Rostov-on-Don, Russian Federation)

Methodology for Determining the Brick Design and the Possibility of its Application in Construction and Architecture

The article reflects the issue of an integrated approach to the design and technical aesthetics of the architectural and spatial environment of modern cities. In the ceramic industry, the issue of a single approved terminology is acute, especially with regard to the aesthetic parameters of the face brick. The names of the colors of the brick, its surfaces and types of molding do not have uniform and legally fixed terms. Manufacturers have the right to give names to the collections of produced face bricks, based on their own preferences and a combination of certain factors. In this regard, there are problems with the unification of the nomenclature on the websites and software of distributors and dealers. The proposed brick-design system contains five main aesthetic characteristics of brickwork: color, texture, format, seam and type of masonry, each of which has several levels of complexity. The most objectively significant characteristics and their levels of complexity that most affect the visual perception of brickwork are determined. The influence of the color of the brick and the color of the seam on the overall appearance of the brickwork is considered. The structuring and combinatorics of aesthetic characteristics that influence the artistic expressiveness of brickwork are expressed in the levels of brick design. The article describes the sequence and formulates a methodology for evaluating the characteristics of brick-design, the use of which can be useful in the market assessment of already built buildings, in their design and at the stage of choosing the facing material, and can also help to consolidate a common terminology of aesthetic characteristics of bricks and masonry.

Keywords: brick, masonry, aesthetics, level, aesthetic characteristics, brick-design.

For citation: Bozhko Y. A., Lapunova K.A. Methodology for determining the brick design and the possibility of its application in construction and architecture. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 4, pp. 37–41. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-37-41>

Фасад является основной частью здания и акцентом внимания при взаимодействии человека и архитектуры в средовом пространстве. Поэтому облицовочный материал несет не только протекторную функцию, но и эстетическую, маркетинговую и даже имиджевую. Сегодня благодаря огромному ассортименту строительных материалов и технологическим возможностям производства архитекторы могут воплотить любые свои идеи в области экстерьера и интерьера. И внешний вид лицевого кирпича здесь играет немаловажную роль как для архитектора-дизайнера, так и для потребителя и просто созерцателя.

В дизайне среды действуют свои определенные законы, однако они зачастую носят субъективный характер. Нормативные документы на строительные матери-

алы регламентируют технические и эксплуатационные показатели и очень кратко и «обтекаемо» упоминают эстетические. К примеру, в ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» указана следующая формулировка: «...цвет и вид лицевой грани устанавливаются по согласованию между изготовителем и потребителем и оговариваются в документе на поставку». Т. е., производители имеют полную свободу в формировании производимого ассортимента продукции. Основываются они на собственных и независимых маркетинговых исследованиях, потребительских предпочтениях и технических возможностях завода [1–3].

На данный момент остро стоит проблема единой терминологии в керамической отрасли. Названия цве-

тов кирпича, его поверхностей и типов формирования не имеют единых и нормативно закрепленных терминов. К примеру, согласно общеизвестной классификации, RAL 1034 «пастельно-желтый» применительно к цвету лицевого керамического кирпича может иметь такие названия, как «соломенный», «пшеничный», «светлый беж», «абрикос», «желтый» и т. д. (рис. 1). Название коллекций «ассоциативными» понятиями вполне оправданно, так как такой подход нацелен на быстрые и понятные ассоциации человека с привычными ему предметами и явлениями. Такая же ситуация и с фактурами лицевого кирпича: «тростник», «кора дерева», «шероховатый», «риф» – все эти названия легко представить мысленно и провести аналогию с хорошо знакомыми предметами.

Однако, в некоторых случаях такое разнообразие наименований эстетических характеристик кирпича может привести к путанице и подмене понятий. Особенно данная проблема ощущается при учете в программе 1С и отображении готовой продукции на сайтах мультибрендовых дилерских компаний. При отсутствии унификации в названиях цветов и поверхностей необходимо создавать номенклатуру на каждый вид кирпича с учетом его «заводских» названий, что приводит к увеличению объемов хранимой информации [4–6].

Решением данной проблемы и возможными путями развития является создание единой терминологии для специалистов отрасли керамических стеновых материалов: производителей, дистрибьюторов, строителей, потребителей и маркетологов. Ранее в своих публикациях авторами был предложен термин brick-дизайн [3], который представляет собой комбинаторику пяти основных характеристик кирпичной кладки: цвет и фактура, формат, шов и тип кладки (рис. 2).

Данная классификация-конструктор охватывает все характеристики кирпичной кладки, каждая из них в свою очередь имеет свои уровни сложности. К примеру, одна из самых важных характеристик лицевого кирпича – цвет, может быть трех уровней сложности: монохром (однотонный красный, желтый, коричневый, серый и т. д.), нюансный (один цвет основной и один дополнительный с эффектом деграде) и полихром (три и более цвета, гармонично сочетающихся друг с другом). По мнению авторов, цвет и фактура лицевой поверхности керамического кирпича являются наиболее весомыми характеристиками для конечного потребителя, а остальные показатели имеют второстепенное значение. Стоит отметить, что характеристики, приведенные на рис. 2, в полной мере описывают кирпичную кладку. Что касается оценки единичных изделий лицевого кирпича, то здесь применимы лишь первые три характеристики: цвет, фактура и формат.

Уровень сложности каждой характеристики кирпичной кладки напрямую влияет на визуальное восприятие и степень выразительности фасада или интерьера. На рис. 3 приведен пример использования трех различных цветов кирпича на одном и том же проекте.

Эстетика архитектурно-пространственной среды понятие достаточно субъективное, ведь то, что нравится одному человеку, оставляет равнодушным другого. Однако даже при таком субъективизме можно совершенно точно выделить объективные факторы. Например, с технологической точки зрения производить пестрый кирпич гораздо сложнее, чем двухцветный и однотонный. Поэтому обоснованно можно считать, что в характеристике «цвет» наиболее сложным является уровень «полихром». Такая же ситуа-



Рис. 1. Цвет RAL1034 и примеры лицевого керамического кирпича цвета «солома» и «пшеничный»

Fig. 1. The color RAL1034 and examples of the «straw» and «wheat» colored ceramic bricks

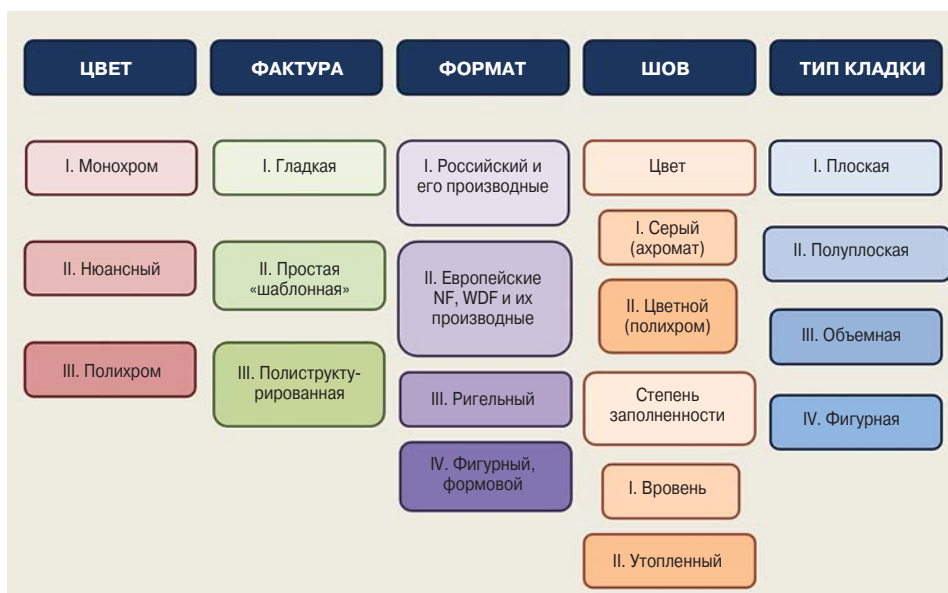


Рис. 2. Основные характеристики кирпичной кладки и уровни их сложности [3]

Fig. 2. The main characteristics of brickwork and their levels of complexity) [3]



Рис. 3. Демонстрация влияния уровня сложности цвета на визуальное восприятие строения
Fig. 3. Demonstration of the effect of the level of color complexity on the visual perception of the house

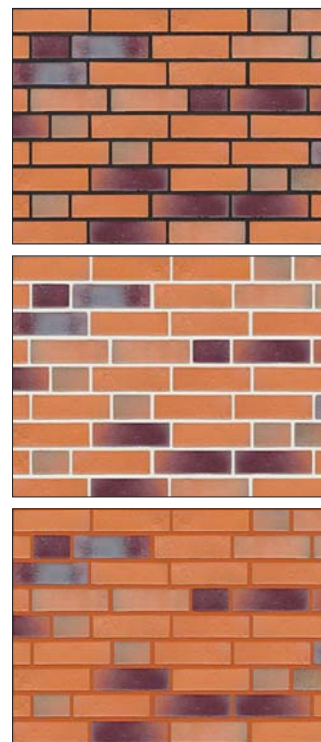


Рис. 4. Влияние цвета шва на общий вид кирпичной кладки
Fig. 4. The effect of the color of the seam on the overall appearance of the brickwork

ция и с фактурой: полиструктурированную поверхность производить гораздо сложнее с технологической точки зрения, чем гладкую или простую «шаблонную» [7, 8].

В настоящее время большие объемы поставок фасадного клинкера и кирпича мягкой формовки поступают из европейских стран, где наиболее распространенными форматами являются WDF, NF, DF и т. д. Разница с привычным нам российским форматом 1НФ не так существенна, и непрофессионалу отличить разницу форматов довольно сложно. Исключением можно считать кирпич ригель, представляющий собой узкий и длинный формат, напоминающий плинфу.

Кладочный шов занимает около 10–12% площади кирпичной кладки, поэтому его роль также существенна. Сейчас широко используются готовые растворы с широкой цветовой линейкой (рис. 4).

Соединяя между собой различные уровни сложности всех пяти характеристик, получаем бесчисленное количество вариантов brick-дизайна различной степени выразительности. Условно данное многообразие кладок можно разделить на шесть уровней brick-дизайна, где каждому соответствуют определенные уровни сложности эстетической характеристики. Чем выше уровень, тем наибольшей эстетической выразительностью отличается комбинаторика элементов [9–12].

В таблице приведена классификация уровней brick-дизайна с подробным описанием соответствующих характеристик и примерами.

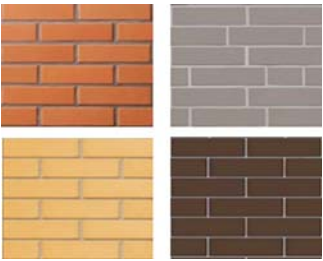
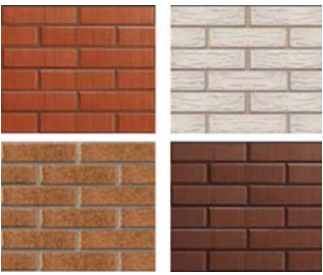

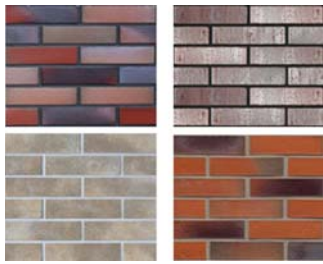


На основании приведенной в таблице классификации можно определять уровень эстетической выразительности любой кирпичной кладки по визуальным характеристикам. Для этого необходимо выделить ряд последовательных шагов, соблюдение которых приведет к установлению одного из шести уровней brick-дизайна.

В качестве анализируемого участка кирпичной кладки должен быть выбран участок, размерами не менее 1 м². В случае, когда это невыполнимо, выделяется наибольший возможный по площади участок стены. Первые три шага относятся к определению эстетических характеристик самого кирпича, остальные два – параметров кладки в целом.

Первым шагом является определение уровня сложности характеристики «цвет». На установленном экспериментальном участке необходимо посчитать, какое количество цветов присутствует: если три и более – то это «полихром», два – «нюансный», остальное – «монохром». Стоит отметить, что заводской разнотон, т. е. незначительные вариации цвета внутри партии кирпича одного цвета, не является уровнем «нюансным». С расстояния 10 м до стены такие цветовые отличия не будут видны.

Следующим этапом необходимо установить, к какому типу поверхности относится исследуемый лицевой кирпич. Тип «полиструктурированная» имеет сложную, визуально состаренную поверхность. Тип «простая шаблонная» может иметь бороздки, продольные и поперечные вмятины, бугорки и углубле-

**Уровни brick-дизайна
Brick-design levels**

Первый уровень «Эконом»	Цвет: I уровень (монохром) Фактура: I уровень (гладкая) Формат: I уровень (российский НФ) Шов: I уровень (серый с любой степенью его заполненности) Тип кладки: I уровень (плоская)	
Второй уровень «Бюджет»	Цвет: I уровень (монохром) Фактура: II уровень (простая шаблонная) Формат: I уровень (российский НФ) Шов: I уровень (серый с любой степенью его заполненности) Тип кладки: I уровень (плоская)	
Третий уровень «Комфорт»	Цвет: II уровень (нюансный) Фактура: I-II уровни (гладкая, простая шаблонная) Формат: I-II уровни (российский НФ и европейские) Шов: I-II уровни (серый и цветной с любой степенью заполненности) Тип кладки: I-II уровни (плоская и полуплоская)	
Четвертый уровень «Бизнес»	Цвет: III уровень (полихром) Фактура: I-II уровни (гладкая, простая шаблонная) Формат: I-III уровни (российский, европейский, ригельный) Шов: I-II уровни (серый и цветной с любой степенью заполненности) Тип кладки: I-III уровни (от плоской до объемной)	
Пятый уровень «Премиум»	Цвет: I-III уровни (полихром) Фактура: III уровень (полиструктурированная) Формат: I-III уровни (российский, европейский, ригельный) Шов: I-II уровни (серый и цветной с любой степенью заполненности) Тип кладки: I-III уровни (от плоской до объемной)	
Шестой уровень «Эксклюзив»	Цвет: III уровень (полихром) Фактура: III уровень (полиструктурированная) Формат: I-III уровни (российский, европейский, ригельный) Шов: I-II уровни (серый и цветной с любой степенью заполненности) Тип кладки: I-IV уровни (от плоской до фигурной)	

ния механического типа, получаемые методом накатки. Поверхность, не имеющая никакого рельефа, относится к «гладкой» фактуре.

Формат кирпича устанавливается путем измерения лицевых граней кирпича линейкой с погрешностью до 1 мм. Затем путем сравнения полученных результатов с общепринятыми российскими и европейскими стандартами делается вывод о принадлежности кирпича к тому или иному формату.

Далее необходимо установить, к какому уровню кладки относится вся кирпичная стена. В данном случае недостаточно оценить фрагмент 1×1 м, так как на фасаде или в интерьере здания элементы декора могут быть выполнены из кирпича. Таким образом, изучив и оценив всю кирпичную кладку в целом, можно сделать вывод, к какому типу сложности ее отнести. При отсутствии выступающих элементов кладки – к «плоской»; при наличии элементов, выступающих до 10 мм – к «полуплоской»; при наличии элементов, выступающих более 10 мм – к «объемной»; при наличии фигурного и формового кирпича (либо подрезке) – к «фигурной».

Последним этапом является оценка и определение параметров шва: цвета и степени заполненности. При использовании готовых кладочных растворов параметр «цвет» будет «цветной (полихром)», а при использовании обычного цементно-песчаного раствора – «серый (монохром)». Параметр «степень заполненности шва» определяется следующим образом: если шов с кирпичом образует единую плоскость, то будет «вровень», если разница уровней более 3 мм, то «утопленный».

После определения всех уровней эстетических характеристик по таблице определяется соответствие кирпичной кладки определенному уровню brick-дизайна. Данная методика проста в использовании, что позволяет даже рядовому потребителю легко ориентироваться в последовательности действий и выборе уровней характеристик.

Использование уровней brick-дизайна может быть полезно при

рыночной оценке уже построенных зданий, при их проектировании и на стадии выбора облицовочного материала [13], а также может способ-

ствовать закреплению единой терминологии эстетических характеристик кирпича и кирпичных кладок.

Список литературы

1. Захаров А.И., Кухта М.С. Форма керамических изделий: философия, дизайн, технология // *Дизайн и общество*. 2015. № 1. С. 1–224.
2. Каримова И.С. Объективное и субъективное в дизайне среды: Монография. Благовещенск: АГУ, 2012. 116 с.
3. Месхи Б.Ч., Божко Ю.А., Терехина Ю.В., Лапунова К.А. Brick-дизайн и его основные элементы // *Строительные материалы*. 2020. № 8. С. 47–51. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-783-8-47-51>
4. Божко Ю.А., Лапунова К.А. Виды лицевой поверхности керамического кирпича мягкого формования. *Актуальные проблемы науки и техники. Материалы национальной научно-практической конференции*. 2020. С. 1644–1647.
5. Божко Ю.А., Лапунова К.А. Применение облицовочного кирпича мягкой формовки в современной архитектуре // *Дизайн. Материалы. Технология*. 2018. № 1. С. 61–65.
6. Волкодаева И.Б., Соловьева Н.В. Архитектурная керамика в дизайне // *Концепции в современном дизайне: Сборник материалов II Всероссийской научной онлайн-конференции с международным участием*. 2020. С. 198–200.
7. Шлегель И.Ф. Изделия архитектурные керамические. Общие технические условия. Омск, 2012. 74 с.
8. Жмакин А.А. Альбом кладок. Ростов н/Д: Феникс, 2012. 118 с.
9. Stolboushkin A.Yu., Akst D.V. Investigation of the decorative ceramics of matrix structure from iron-ore waste with vanadium component addition // *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931, pp. 520–525. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.520>
10. Тимофеев А.Н., Попов А.Н., Полищук М.Н. Инновационная технология кладки кирпичных стен // *Современное машиностроение. Наука и образование*. 2016. № 5. С. 744–755.
11. Трифонова Е.А., Вечкасова Е.Н. Использование кирпичной кладки в современном дизайне и строительстве. Перспективы использования декоративной кладки // *Universum: технические науки*. 2018. № 4 (49).
12. Ригель-кирпич: нетрадиционные решения на века // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2016. № 1–2 (204–205). С. 18–19.
13. 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>

References

1. Zaharov A.I., Kuhta M.S. The form of ceramic products: philosophy, design, technology. *Dizayn i obshchestvo*. 2015. No. 1, pp. 1–224. (In Russian).
2. Karimova I.S. Ob'ektivnoe i sub'ektivnoe v dizajne sredy [Objective and subjective in the design of the environment]. Monograph. Blagoveshchensk: ASV. 2012. 116 p.
3. Meskhi B.Ch., Bozhko Yu.A., Terekhina Yu.V., Lapunova K.A. Brick-design and its main elements. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 8, pp. 47–51. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-783-8-47-51>
4. Bozhko Yu.A., Lapunova K.A. Types of the front surface of soft-formed ceramic bricks. *Actual problems of science and technology. Materials of the national scientific and practical conference*. 2020, pp. 1644–1647. (In Russian).
5. Bozhko Yu.A., Lapunova K.A. The use of soft molded facing bricks in modern architecture. *Dizayn. Materialy. Tehnologija*. 2018. No. 1, pp. 61–65. (In Russian).
6. Volkodaeva I.B., Solov'eva N.V. Architectural ceramics in design. *Concepts in modern design. Collection of materials of the II All-Russian scientific online conference with international participation*. 2020, pp. 198–200. (In Russian)
7. Shlegel I.F. Izdeliya arhitekturnye keramicheskie. Obshhie tehicheskie usloviya [Ceramic architectural products. General specifications]. Omsk. 2012. 74 p.
8. Zhmakin A.A. Al'bom kladok [Masonry album]. Rostov-on-Don: Phoenix. 2012. 118 p.
9. Stolboushkin A.Yu., Akst D.V. Investigation of the decorative ceramics of matrix structure from iron-ore waste with vanadium component addition. *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931, pp. 520–525. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.520>
10. Timofeev A.N., Popov A.N., Polishhuk M.N. Innovative brick wall technology. *Sovremennoe mashinostroenie. Nauka i obrazovanie*. 2016. No. 5, pp. 744–755. (In Russian).
11. Trifonova E.A., Vechkasova E.N. The use of brickwork in modern design and construction. Prospects for the use of decorative masonry. *Universum: tehicheskie nauki*. 2018. No. 4 (49). (In Russian).
12. Crossbar-brick: unconventional solutions for centuries. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka*. 2016. No. 1–2 (204–205), pp. 18–19. (In Russian).
13. 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>

Я.В. ЛАЗАРЕВА, инженер (yana-cherevkova@yandex.ru), К.А. ЛАПУНОВА, канд. техн. наук (keramik_kira@mail.ru), М.Е. ОРЛОВА, инженер (marina.nekrasova.96@list.ru)

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

Керамическая черепица из аргиллитов как элемент руф-дизайна в облике современных мегаполисов

Приведена краткая историческая справка об использовании керамической черепицы в архитектурных традициях различных стран, культур и эпох. Отмечены достоинства и преимущества натуральной керамической черепицы по отношению к другим кровельным материалам, используемым строителями и архитекторами при формировании облика современных мегаполисов. Обозначена проблема, связанная с хаотичным выбором строительных материалов, в частности кровельных, которые не позволяют воспринимать городскую застройку как единый архитектурный ансамбль. Приведены примеры использования различных комбинаторных решений с использованием цвета и формы черепицы в руф-дизайне. Предложено использование альтернативной сырьевой базы для получения керамической черепицы с повышенными физико-механическими характеристиками, позволяющей производить эстетически привлекательные изделия нестандартных форм и размеров. Отмечено, что при использовании аргиллитов в качестве основного сырья возможно снижение себестоимости, что позволит отечественным производителям керамических изделий быть конкурентоспособными на современном рынке кровельных материалов, а также решит проблему использования ранее разведанных месторождений, которые до настоящего времени не нашли применения в производстве керамических материалов.

Ключевые слова: черепица, крыша, дизайн, руф-дизайн, аргиллиты.

Для цитирования: Лазарева Я.В., Лапунова К.А., Орлова М.Е. Керамическая черепица из аргиллитов как элемент руф-дизайна в облике современных мегаполисов // *Строительные материалы*. 2021. № 4. С. 42–46. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-42-46>

Ya.V. LAZAREVA, Engineer (yana-cherevkova@yandex.ru), K.A. LAPUNOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (keramik_kira@mail.ru), M.E. ORLOVA, Engineer (marina.nekrasova.96@list.ru)
Don State Technical University (1, Gagarin Square, 344000, Rostov-on-Don, Russian Federation)

Ceramic Tiles Made of Mudstones as an Element of Roof-Design in the Appearance of Modern Megacities

A brief historical reference on the use of ceramic tiles in the architectural traditions of various countries, cultures and eras is given. The advantages and benefits of natural ceramic tiles in relation to other roofing materials used by builders and architects in the formation of the appearance of modern megacities are noted. The problem associated with the chaotic choice of building materials, in particular roofing materials, which don't make it possible to perceive urban development as a single architectural ensemble, is identified. Examples of the use of various combinatorial solutions using the color and shape of tiles in roof design are given. It is proposed to use an alternative raw material base for obtaining ceramic tiles with increased physical and mechanical characteristics, which makes it possible to produce aesthetically attractive products of non-standard shapes and sizes. It is noted that when using mudstones as the main raw material, it is possible to reduce the cost of production, which will make it possible for domestic manufacturers of ceramic products to be competitive at the modern market of roofing materials, and also solve the problem of using previously explored deposits that have not yet found application in the production of ceramic materials.

Keywords: tiles, roof, design, roof-design, mudstones.

For citation: Lazareva Ya.V., Lapunova K.A., Orlova M.E. Ceramic tiles made of mudstones as an element of roof-design in the appearance of modern megacities. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 4, pp. 42–46. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-42-46>

В поисках подходящего материала для устройства кровли своего жилища строители разных эпох прошли долгий путь. За многие тысячелетия зодчие использовали различные материалы, от веток, соломы, коры деревьев до металла, цементной и битумной черепицы. Однако ничего более эффективного, комфортного и надежного, чем керамическая черепица, не нашли. С того момента как был освоен процесс обжига глины, и первые строители начали использовать керамическую черепицу для защиты от воздействия внешних факторов и украшения своих жилищ, она стала кровельным материалом вне моды и времени, своего рода элегантной классикой в строительстве. Конечно, существуют тренды, которые обусловлены влиянием эпохи и экономической составляющей, а также другими факторами, заставляющими выбирать более дешевые кровельные материалы, но человек, который может себе позволить использовать для устройства кровли натуральную черепицу, всегда предпочтет ее аналогам.

Считается, что впервые производить и использовать черепицу в качестве кровельного материала начали на Востоке еще около четырех тысяч лет назад. В Древнем Китае черепица выполнялась в полукруглой форме и крепилась на специальный профиль. Свесы кровли оформлялись фигурками зверушек цян-шоу, которые вместе с коньковыми элементами джэнь-вэнь параллельно выполняли функцию защиты дома от злых духов (рис. 1).

Наряду с практическим применением черепица использовалась как элемент украшения жилища — она выполнялась в различных формах и цветах, на нее наносились рисунки [1–4]. Кровля в восточной архитектуре приобретает господствующее значение. Выбор цвета крыши определялся статусом строения — красно-коричневые и серые цвета преобладали в жилых домах состоятельных семей; желтый цвет — цвет императора — использовался во дворцах; синей черепицей покрывались храмы.



Рис. 1. Керамическая черепица в Китае
Fig. 1. Ceramic roof tiles in China



Рис. 2. Римская черепица
Fig. 2. Roman roof tiles



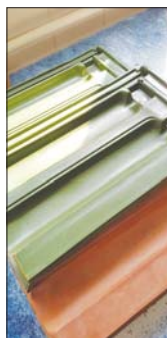
Рис. 3. Укладка черепицы на раствор
Fig. 3. Laying tiles for mortar



Рис. 4. Церковь Святого Марка, Хорватия
Fig. 4. Church of St. Mark, Croatia



Рис. 5. Образцы керамической черепицы из аргиллитов, полученные в Донском государственном техническом университете
Fig. 5. Samples of ceramic tiles from mudstones obtained at the Don State Technical University



В Европе изготавливать керамическую черепицу первыми начали древние греки, опираясь на естественные природные формы и цвета. Это была S-образная плитка, значительно превышающая размеры современной черепицы, которая весила до 30 кг. Римляне усовершенствовали технологию производства керамической черепицы. От них и было заимствовано название черепицы tegula, производное от латинского глагола tegere – накрывать (рис. 2). В то время для лучшего сцепления и получения более прочной и надежной крыши ее укладывали на раствор (рис. 3).

В более поздний период на территории Западной Европы глазурованную черепицу стали укладывать в форме различных орнаментов и гербов (рис. 4).

На Руси черепица появилась под влиянием Византии и использовалась для кровельных работ

при строительстве храмов и дворцов. В дальнейшем периоды возрастающей популярности сменялись снижением спроса на керамическую черепицу. Интерес Петра I ко всему голландскому, в том числе и к устройству кровель керамической черепицей, был заменен вниманием к металлургической отрасли, когда на смену черепичным крышам пришла кровля из металла, затем очередной всплеск популярности в XVIII–XIX вв. и вновь забвение до конца XX в. [5–7].

В настоящее время наблюдается растущая популярность керамической черепицы, когда жилище рассматривается не только как защита от внешних факторов, но и как возможность показать свою индивидуальность, обеспечив при этом комфортное проживание. Но проблема в том, что в настоящее время на отечественном рынке ассортимент глиняной



Рис. 6. Примеры керамической черепицы
Fig. 6. Examples of ceramic tiles

черепицы представлен в основном импортными производителями. Цена за квадратный метр может достигать до 3–4 тыс. р., а за коньковую – до нескольких тысяч за штуку. Наблюдая устойчивое увеличение спроса на этот кровельный материал, отечественные предприятия по производству керамических изделий и материалов стали налаживать выпуск керамической черепицы. На кафедре «Строительные материалы» были разработаны составы масс для получения клинкерной черепицы с улучшенными физико-механическими характеристиками [8–10]. В качестве основного сырья использовались аргиллиты. Такое сырье достаточно распространено в Ростовской области, но в настоящий момент не используется для производства керамики. Большие запасы аргиллитов были разведе-

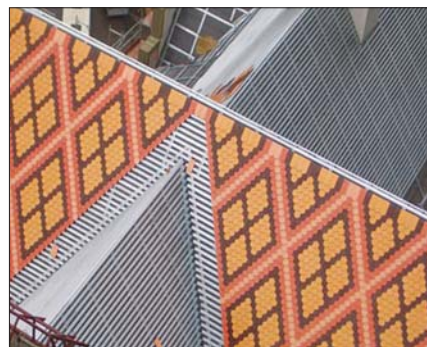


Рис. 7. Комбинаторные решения с использованием цветной черепицы
Fig. 7. Combinatorial solutions using colored tiles

ны 50–60 лет назад с целью производства керамзита и цемента, но широкого распространения не получили, так как керамзит из камнеподобного сырья получался достаточно тяжелым.

Использование аргиллитов и аргиллитоподобных глин для производства керамического клинкера, в



Рис. 8. Черепичные крыши, Прага
Fig. 8. Tiled roofs, Prague



Рис. 9. Крыши Ростова-на-Дону
Fig. 9. Roofs of Rostov-on-Don

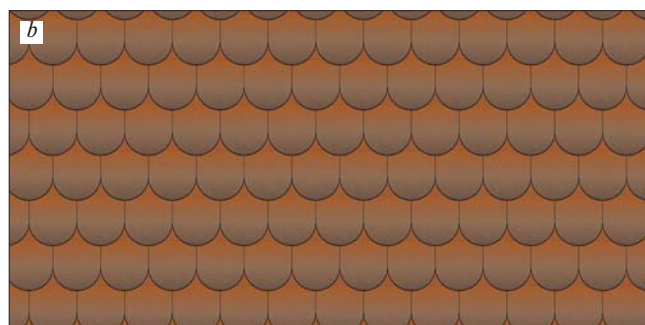
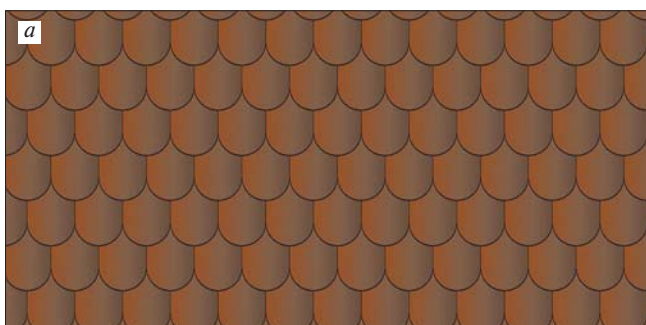


Рис. 10. Примеры черепицы с эффектом деградации: *a* – вертикальное направление; *b* – горизонтальное направление
Fig. 10. Examples of tiles with degrade-effect: *a* – vertical direction; *b* – horizontal direction

частности черепицы, позволит получать высококачественные изделия, что подтверждено не только лабораторными, но и заводскими испытаниями (рис. 5), а также использовать ранее разведанную сырьевую базу.

Полученные в лаборатории результаты, в частности высокий показатель предела прочности керамического камня, позволили предположить, что за счет имеющегося запаса прочности возможно уменьшение толщины готовой черепицы [2]. Такой результат делает возможным получение керамической клинкерной черепицы больших размеров, при этом не утяжеляя ее, что имеет немаловажное значение при проектировании и расчете стропильных систем, а также при работе по монтажу кровельных материалов.

Номенклатура выпускаемых изделий насчитывает сотни разновидностей форм, цветов и фактур керамической черепицы (рис. 6), из которых путем комбинирования можно создавать индивидуальные проекты крыш (рис. 7).

Возможность получения изделий меньшей толщины позволит расширить ассортимент за счет увеличения геометрических размеров и поиска новых форм керамической черепицы.

Модификации крыш, их планировка, художественное и техническое оформление, дизайн, материал покрытия – все это в настоящее время связано с определением roof-design – руф-дизайн [11–15]. Одной из разновидностей руф-дизайна является дизайн покрытия крыш, который позволяет ориентироваться во всем разнообразии современных кровельных материалов. Вид кровли и выбор материала

для ее обустройства играют очень важную роль в облике городов наряду с архитектурой самих зданий. Насколько естественно вписываются в ландшафт, создавая гармоничный ансамбль, черепичные крыши европейских городов (рис. 8) и насколько разрозненно выглядят современные застройки наших городов с хаотичными крышами (рис. 9).

Наряду с обычной керамической черепицей, имеющей естественный цвет обожженной глины, на рынке в настоящее время представлен огромный выбор цветовых решений, достигаемых объемным окрашиванием и покрытием поверхности ангобами и глазуриями. Помимо сплошного окрашивания одним цветом, некоторые производители прибегают к технике деграде – плавному переходу от одного цвета или оттенка к другому (рис. 10). Такое разнообразие форм и цвета позволит найти для себя дизайнерское решение даже самому требовательному потребителю.

Отсутствие единого архитектурного стиля в рамках отдельного района или населенного пункта в целом не позволяет оценить особенность и индивидуальность города. Хаотичная застройка, смешение стилей, использование разных, не сочетающихся между собой строительных материалов – все это спутники типового современного строительства. В погоне за простотой и дешевизной теряется уникальность построек. Растущая популярность керамических изделий в целом и черепицы в частности позволяет надеяться, что наши потомки смогут любоваться как архитектурой прошлых столетий, так и современной, ведь керамическая черепица – это не только красиво, но и долговечно.

Список литературы

1. Забалуева Т.Р. История архитектуры и строительной техники. М.: Эксмо, 2007. 736 с.
2. Лазарева Я.В., Котляр А.В., Терехина Ю.В. Структурно-механические особенности керамической черепицы на основе аргиллитов и кремнистых глин. *Материалы национальной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и техники»*. Ростов н/Д. 2020. С. 1649–1651.
3. Охотная А.С., Котляр В.Д., Орлова М.Е. Керамическая черепица: особенности современного дизайна и технологии производства. *Технология художественной обработки материалов. Сборник материалов XXI Всероссийской научно-практической конференции*. Ижевск, 2018. С. 319–324.
4. Ковальчук А.В., Толстиков В.П. Черепичные клейма из раскопок Пантикапея 1990–1991 гг. // *Древности Боспора*. 2005. № 8. С. 377–393.
5. Котляр В.Д., Орлова М.Е., Лапунова К.А., Лазарева Я.В. История появления и основные этапы развития производства керамической черепицы. *Строительство. Архитектура. Экономика. Материалы Международного форума «Победный май 1945 года»: Сборник статей. Министерство образования и науки Российской Федерации, Донской государственный технический университет, Профсоюз работников народного образования*

References

1. Zabalueva T.R. Istoriya arkhitektury i stroitel'noi tekhniki [History of architecture and construction technology]. Moscow: Eksmo. 2007. 736 p.
2. Lazareva Ya.V., Kotlyar A.V., Terekhina Yu.V. Structural and mechanical features of ceramic tiles based on mudstones and siliceous clays. *Materials of the national scientific and practical conference. "Actual problems of science and technology"*. Rostov-on-Don. 2020, pp. 1649–1651. (In Russian).
3. Okhotnaya A.S., Kotlyar V.D., Orlova M.E. Ceramic tiles: features of modern design and production technology. *Technology of artistic processing of materials. Collection of materials of the XXI All-Russian scientific-practical conference*. Izhevsk. 2018, pp. 319–324. (In Russian).
4. Koval'chuk A.V., Tolstikov V.P. Tiled hallmarks from the excavations of Panticapaeum 1990–1991. *Drevnosti Bospora*. 2005. No. 8, pp. 377–393. (In Russian).
5. Kotlyar V.D., Orlova M.E., Lapunova K.A., Lazareva Ya.V. The history of appearance and the main stages of development of the production of ceramic tiles. *CONSTRUCTION. ARCHITECTURE. ECONOMY. Materials of the International Forum "Victory May 1945": a collection of articles. Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Don State Technical University, Trade Union of Public Education and Science*

- и науки Российской Федерации. Ростов н/Д. 2018. С. 47–50.
6. Lazareva Y.V., Kotlyar A.V., Orlova M.E., Lapunova K.A. Water permeability of argillite-based ceramic tiles // *MATEC Web Conf.* 2018. 04072. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201819604072>
 7. Котляр В.Д., Лапунова К.А., Лазарева Я.В., Усепян И.М. Основные тенденции и перспективные виды сырья при производстве керамической черепицы // *Строительные материалы.* 2015. № 12. С. 28–31.
 8. Лазарева Я.В., Лапунова К.А., Орлова М.Е., Котляр А.В. Взаимосвязь водопоглощения и водонепроницаемости керамической черепицы из аргиллитоподобных глин // *Строительные материалы.* 2018. № 5. С. 36–39. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-758-4-36-39>
 9. Лазарева Я.В., Котляр А.В. Расчет составов керамических масс для производства черепицы на основе аргиллитов // *Строительные материалы.* 2020. № 8. С. 54–58. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-783-8-54-58>
 10. Лазарева Я.В., Котляр А.В., Орлова М.Е. Технологическая схема производства клинкерной черепицы на основе аргиллитов способом мягкого компрессионного формования. *Теория и практика повышения эффективности строительных материалов. Материалы XIII Международной научно-технической конференции молодых ученых, посвященной памяти профессора В.И. Калашникова.* Пенза, 2018. С. 83–89.
 11. Котляр А.В., Талпа Б.В. Камнеподобные глинистые породы Восточного Донбасса – перспективное сырье для производства стеновой керамики. *Сборник трудов научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы наук о Земле».* Ростов н/Д. 2015. С. 49–51.
 12. Котляр В.Д., Лазарева Я.В., Усепян И.М., Заманский А.М. Основные тенденции в производстве керамической черепицы. *Строительство и архитектура-2015. Материалы международной научно-практической конференции.* Ростов н/Д. 2015. С. 278–281.
 13. Лазарева Я.В., Лапунова К.А., Орлова М.Е. Понятие рурф-дизайна в современной архитектуре и строительстве. *Вторая российская научно-практическая конференция с международным участием. Универсальный дизайн – равные возможности – комфортная среда.* М., 2018. С. 231–237.
 14. Лазарева Я.В., Котляр В.Д., Лапунова К.А., Ерёменко Г.Н. Основные направления развития дизайна и технологии производства керамической черепицы // *Дизайн. Материалы. Технология.* 2016. № 3 (43). С. 78–82.
 15. Котляр В.Д., Орлова М.Е., Лапунова К.А. Технология и рурф-дизайн керамической черепицы на основе аргиллитоподобной глины. *Технология художественной обработки материалов: Сборник материалов XXI Всероссийской научно-практической конференции.* Ижевск, 2018. С. 311–314.
 - Workers of the Russian Federation. Rostov-on-Don. 2018, pp. 47–50. (In Russian).
 6. Lazareva Y.V., Kotlyar A.V., Orlova M.E., Lapunova K.A. Water permeability of argillite-based ceramic tiles. *MATEC Web Conf.* 2018. 04072. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201819604072>
 7. Kotlyar V.D., Lapunova K.A., Lazareva Ya.V., Usepyan I.M. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 12, pp. 28–31. (In Russian).
 8. Lazareva Y.V., Lapunova K.A., Orlova M.E., Kotlyar A.V. Relationship of water absorption and water resistance of a ceramic tile from argillithlike clays. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 36–39. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-758-4-36-39> (In Russian).
 9. Lazareva Ya.V., Kotlyar A.V. Calculation of compositions of ceramic masses for production of tiles based on argillites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 8, pp. 54–58. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-783-8-54-58>
 10. Lazareva Ya.V., Kotlyar A.V., Orlova M.E. Technological scheme for the production of clinker tiles on the basis of mudstones by the method of soft compression molding. *Theory and practice of increasing the efficiency of building materials. Materials of the XIII International Scientific and Technical Conference of Young Scientists dedicated to the memory of Professor V.I. Kalashnikov.* Penza. 2018, pp. 83–89. (In Russian).
 11. Kotlyar A.V., Talpa B.V. Stone-like clayey rocks of the Eastern Donbass are promising raw materials for the production of wall ceramics. *Proceedings of the scientific conference of students and young scientists with international participation "Actual problems of earth sciences".* Rostov-on-Don. 2015, pp. 49–51. (In Russian).
 12. Kotlyar V.D., Lazareva Ya.V., Usepyan I.M., Zamanskii A.M. The main trends in the production of ceramic tiles. *Construction and architecture-2015. Materials of the international scientific-practical conference.* Rostov-on-Don. 2015, pp. 278–281. (In Russian).
 13. Lazareva Ya.V., Lapunova K.A., Orlova M.E. The concept of roof-design in modern architecture and construction. *Second Russian scientific and practical conference with international participation. Universal design – equal opportunity – comfortable environment.* Moscow. 2018. pp. 231–237. (In Russian).
 14. Lazareva Ya.V., Kotlyar V.D., Lapunova K.A., Eremanko G.N. The main directions of development of design and technology for the production of ceramic tiles // *Dizajn. Materialy. Tehnologija.* 2016. No. 3 (43), pp. 78–82. (In Russian).
 15. Kotlyar V.D., Orlova M.E., Lapunova K.A. Technology and roof-design of ceramic tiles based on argillite-like clay. *Technology of artistic processing of materials. Collection of materials of the XXI All-Russian scientific-practical conference.* Izhevsk. 2018, pp. 311–314. (In Russian).

УДК 692.2:549.74

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-47-53>

В.Д. КОТЛЯР¹, д-р техн. наук (diatomit_kvd@mail.ru),
 В.В. ПИЩУЛИНА¹, д-р архитектуры (viktlad@mail.ru);
 Ю.В. ПОПОВ², канд. геол.-минерал. наук (popovsfedu@gmail.com);
 Б.В. ТАЛПА², канд. геол.-минерал. наук (talpabv@gmail.com)

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

² Южный федеральный университет (344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42)

Микроструктурные изменения в известковых растворах древних кирпичных кладок

Представлены результаты изучения рекристаллизации кальцита в известковых растворах древних кирпичных кладок, связанных с механизмом преобразования портландита, изначально составляющего основу известкового раствора, в кальцит. Установлено, что в естественных условиях этот процесс занимает от 100 до 200 лет. Приведены примеры, показывающие, что в кладочных растворах XVIII века портландит полностью трансформируется в кальцит. Изучение тонкой фракции новообразованного кальцита, с размером зерен до 5 мкм, рентгенодифракционными методами позволяет определить степень относительной рекристаллизации кальцита. Это делается на основании оценки ширины пика на половине его высоты (FWHM) для его главного отражения от плоскости – 3,03 Å, что позволяет использовать эти данные для оценки относительного возраста кирпичных и каменных кладок различных памятников архитектурного наследия. Приведены фактические данные, подтверждающие, что у более древних известковых растворов степень рекристаллизации кальцита существенно выше, чем у более молодых. Применение предлагаемого рассмотренного метода относительной оценки возраста кирпичных и каменных кладок особенно актуально для Юга России, где сохранилось много объектов, характерных для северных провинций Византийской ойкумены и других культур, возведенных с использованием известковых растворов.

Ключевые слова: кирпичная кладка, известковый раствор, портландит, кальцит, степень рекристаллизации, возраст.

Исследование поддержано грантом РФФИ №19-012-00402\20.

Для цитирования: Котляр В.Д., Пищулина В.В., Попов Ю.В., Талпа Б.В. Микроструктурные изменения в известковых растворах древних кирпичных кладок // *Строительные материалы*. 2021. № 4. С. 47–53. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-47-53>

V.D. KOTLYAR¹, Doctor of Sciences (Engineering) (diatomit_kvd@mail.ru),
 V.V. PISHCHULINA¹, Doctor of Architecture (viktlad@mail.ru);
 Yu.V. POPOV², Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy) (popovsfedu@gmail.com);
 B.V. TALPA², Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy) (talpabv@gmail.com)

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

² Southern Federal University (105/42, B. Sadovaya Street, Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation)

Microstructural Changes in Lime Mortars of Ancient Brick Masonries

The results of studying the recrystallization of calcite in lime mortars of ancient brickwork, associated with the mechanism of transformation of portlandite, which originally constituted the basis of lime mortar, into calcite, are presented. It has been established that under natural conditions this process takes from 100 to 200 years. Examples are given showing that portlandite is completely transformed into calcite in masonry solutions of the 18th century. The study of the fine fraction of newly formed calcite, with a grain size of up to 5 microns, by X-ray diffraction methods, makes it possible to determine the degree of relative recrystallization of calcite. This is done based on the estimate of the peak width at half height (FWHM) for its main reflection from the plane – 3.03 Å, which allows using these data to estimate the relative age of brick and masonry of various monuments of architectural heritage. Factual data are presented, confirming that the degree of recrystallization of calcite in older lime solutions is significantly higher than in younger ones. The use of the proposed considered method for the relative assessment of the age of brick and masonry is especially important for the South of Russia, where many objects characteristic of the northern provinces of the Byzantine oikumene and other cultures erected using lime mortars have survived.

Keywords: brickwork, lime mortar, portlandite, calcite, degree of recrystallization, age.

The study was supported by RFBR grant No. 19-012-00402\20.

For citation: Kotlyar V.D., Pishchulina V.V., Popov Yu.V., Talpa B.V. Microstructural changes in lime mortars of ancient brick masonries. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 4, pp. 47–53. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-47-53>

Известковые вяжущие вещества (воздушная и гидравлическая известь, романцемент) и кладочные растворы на их основе являются одними из первых, которые широко стали использоваться человечеством в своей строительной истории для возведения кирпичных и каменных кладок. Массовым и повсеместным строительным материалом известковые растворы

стали в период Римской империи. Используются они и в настоящее время [1, 2]. Широкое применение известковых растворов обусловлено относительно несложной технологией получения, достаточно широким распространением сырьевых материалов для их получения – различных карбонатных пород (известняков) и мелких заполнителей и их свойствами.

У большинства людей, которые смотрят на древнюю кирпичную или каменную кладку в памятниках архитектурного наследия, всегда возникает вопрос: когда это было сделано? Когда это было построено? Однако правильно ответить на этот вопрос не так-то просто. Особенно важен ответ на этот вопрос для специалистов по истории архитектуры, археологов, историков. Зная абсолютный или даже относительный возраст древних строительных объектов, специалисты могут сделать много достоверных выводов в своих областях знаний. В настоящее время в истории архитектуры и археологии существует много прямых и косвенных методов определения возраста тех или иных древних строительных объектов:

— историко-архитектурные методы: календарное, типологическое, стратиграфическое датирование, сериация и др.;

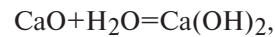
— физические и химические методы: термолюминесцентный метод, метод электронного парамагнитного резонанса, датирование по остаточной намагниченности, по рацемизации аминокислот, радиометрическое, калиево-аргоновое датирование и др.

Для определения возраста различных видов керамических изделий как прямой используется термолюминесцентный метод. Однако интервал определения возраста для объектов, поддающихся датированию по термолюминесценции, такой же, как и для радиоуглеродного метода, — от нескольких десятков тысяч лет до 1500 н. э. [3–5]. Для «строительной истории» человечества наиболее интересным является период от 1000 лет до н. э. и вплоть до XIX века н. э.

Известно, что после получения керамических изделий, в том числе и керамического кирпича, с ним в плане физико-химических, фазовых и минералогических преобразований особо ничего не происходит, что могло бы помочь определить возраст. Как правило, возраст кирпичной кладки и соответственно того или иного древнего объекта строительства или его части устанавливается по виду и маркировке (клейма) изделий, виду кладочного раствора, характерным признакам кирпичной кладки с учетом географической специфики и региональных признаков кирпичного строительства, подтвержденными историческими данными и др. Что касается кирпича, то надо иметь в виду, что раньше широко распространенным в строительстве явлением было повторное его использование. И если, как уже говорилось, с нормально обожженным керамическим кирпичом на протяжении столетий практически ничего не происходит, то известковый строительный раствор подвержен существенным химико-минералогическим трансформациям, по которым косвенно можно определять возраст кирпичной кладки.

Процесс твердения и набора прочности известковых бетонов и растворов проходит в несколько этапов. Первый этап, который продолжается около месяца, — набор прочности характеризуется образова-

нием кристаллитов гидроксида кальция (минерал портландит) по реакции:



с дальнейшим срастанием образовавшихся кристаллов. Второй этап характеризуется упрочнением кристаллических сростков гидроксида кальция за счет его реакции с углекислотой, присутствующей в атмосфере:



В процессе карбонизации выделяется химически связанная вода, поэтому в первые один-два года известковые растворы кажутся как бы все время влажными. В процессе данной реакции вначале образуется плотный наружный слой карбоната кальция (минерал кальцит), который затрудняет доступ углекислого газа в глубь кладки, и процесс замедляется, но все равно продолжается, так как известковые растворы обладают достаточно высокой пористостью. Постепенно весь портландит переходит в кальцит с повышением стойкости и прочности раствора. Процесс карбонизации хорошо известен и изучен при естественной карбонизации бетонов на портландцементе и получении силикатных бетонов с принудительной карбонизацией и т. д. [6, 7].

Скорость карбонизации портландита зависит от множества технологических факторов: дисперсности частиц извести, водосодержания раствора, колебаний температуры и концентрации углекислого газа, наличия веществ, способствующих повышению концентрации CO_2 внутри кристаллизующейся массы (например, путем введения органических материалов: молока, крови, отвара древесной коры и др., как это практиковали древнерусские мастера), а также времени карбонизации. Последний из перечисленных факторов является определяющим на этапе рекристаллизации, когда параметры среды довольно равномерны, а изменением содержания атмосферного CO_2 и сезонными колебаниями температуры можно пренебречь в масштабах оценок на уровне десятилетий или столетий. Значение имеет лишь длительное дополнительное увлажнение, способствующее диссоциации карбонатов и гидрокарбонатов угольной кислотой и активизации ионообменных реакций в жидкой фазе.

Параллельно с карбонизацией раствор может набирать прочность за счет взаимодействия гидроксида кальция с реакционноспособными разновидностями кремнезема, который присутствует в различных горных породах и керамике, таких как вулканический туф и вулканический пепел, кремнистые опал-кристобалитовые породы, вулканические кислые породы, керамический бой и т. д. [8, 9]. Данные породы и материалы могут выступать в роли мелкого заполнителя и как компонент вяжущего вещества, в результате чего образуются гидросиликаты кальция с постоянным содержанием воды по реакции:

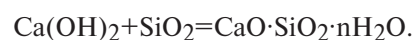




Рис. 1. Фрагменты кирпичной кладки на известковом растворе в Херсонесе (Крым)
Fig. 1. Fragments of brickwork on lime mortar in Chersonesos (Crimea)



Рис. 2. Полуразрушенная кирпичная кладка на известковом растворе в древнем городе Эфес (Турция, II в.)
Fig. 2. Dilapidated brickwork on a lime mortar in the ancient city of Ephesus (Turkey, II century AD)



Рис. 3. Фрагменты кирпичной кладки на известковом растворе на объектах архитектурного наследия Абхазии (слева – Анакопия, воротная башня, X в.; справа – Бзыбская крепость, стена, VIII в.)
Fig. 3. Fragments of brickwork on lime mortar on the objects of the architectural heritage of Abkhazia (on the left – Anakopia, gate tower, X century, on the right – Bzyb fortress, wall, VIII century)

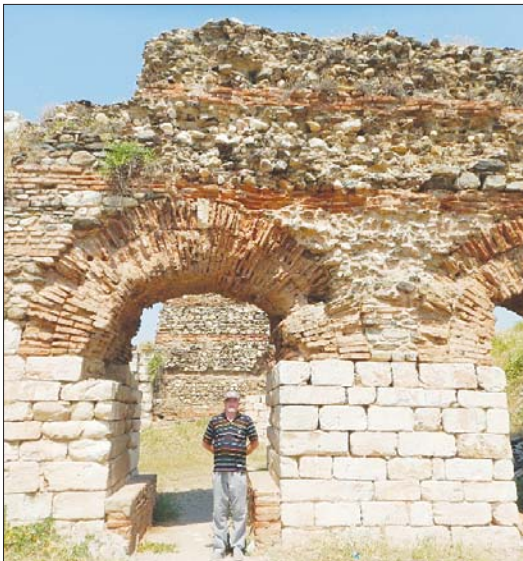


Рис. 4. Полуразрушенный кирпичный свод на известковом растворе в древнем городе Сардис (Турция, IV–V вв.)
Fig. 4. A dilapidated brick vault on lime mortar in the ancient city of Sardis (Turkey IV–V century)

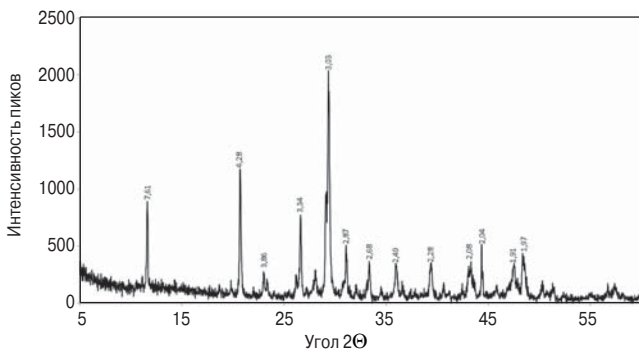


Рис. 5. Рентгенограмма образца из стены Сухумской крепости – Сухум-Кале. Построена архитектором Юсуф-ага в 1724 г.
Fig. 5. X-ray of a sample from the wall of the Sukhum fortress – Su-khum-kale. Built by the architect Yusuf-aga in 1724

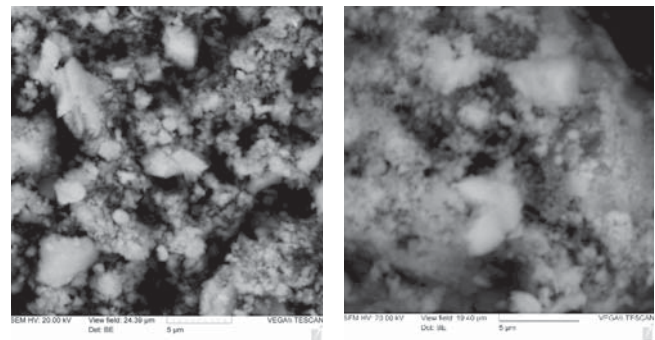


Рис. 6. Микрорекристаллы новообразованного кальцита в известковых растворах
Fig. 6. Microcrystals of newly formed calcite in lime solutions

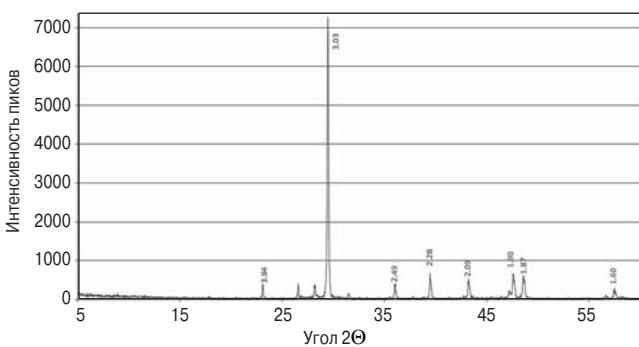


Рис. 7. Рентгенограмма мрамора
Fig. 7. X-ray of marble

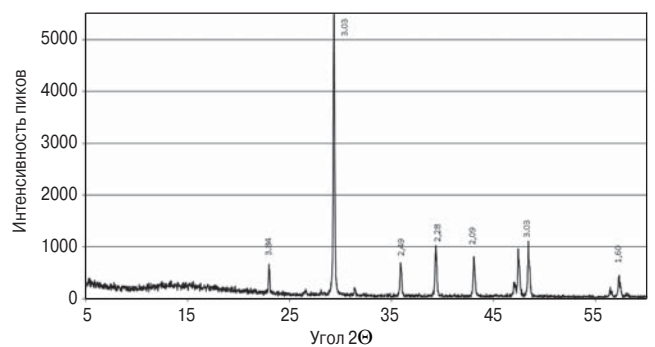


Рис. 8. Рентгенограмма мелоподобного известняка, отобранного около Анакопийской крепости
Fig. 8. X-ray diffraction pattern of chalk-like limestone sampled near the Anakopia fortress

Последним и самым продолжительным этапом «жизни» известкового раствора является этап, условно названный авторами этапом рекристаллизации кальцита, сопровождающийся ростом микрокристаллов кальцита.

Степень развития процесса рекристаллизации кальцита можно выявить эффективными при изучении микрокристаллических агрегатов инструментальными методами – электронно-зондовыми и рентгенодифракционными [10]. Анализ дифракто-

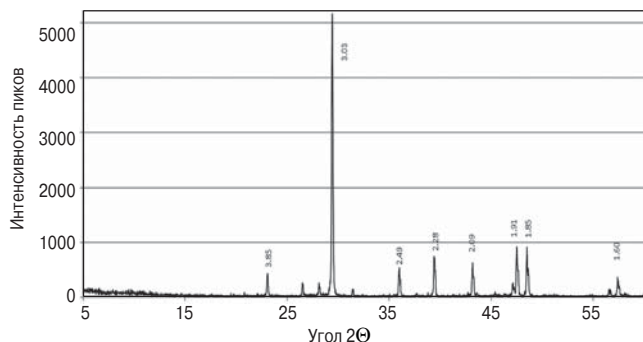


Рис. 9. Рентгенограмма образца из кладки на известковом растворе в древнем городе Эфес (I в.)

Fig. 9. X-ray of a sample from a masonry on a lime mortar in the ancient city of Ephesus (1st century AD)

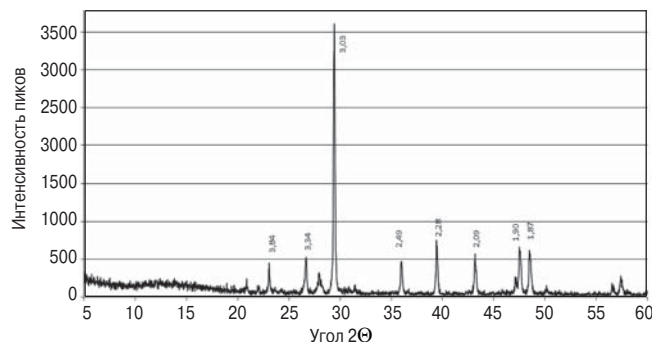


Рис. 10. Рентгенограмма образца из кладки воротной башни Анакопийской крепости (X в.)

Fig. 10. X-ray from the masonry of the gate tower Anapokipia fortress (10th century AD)

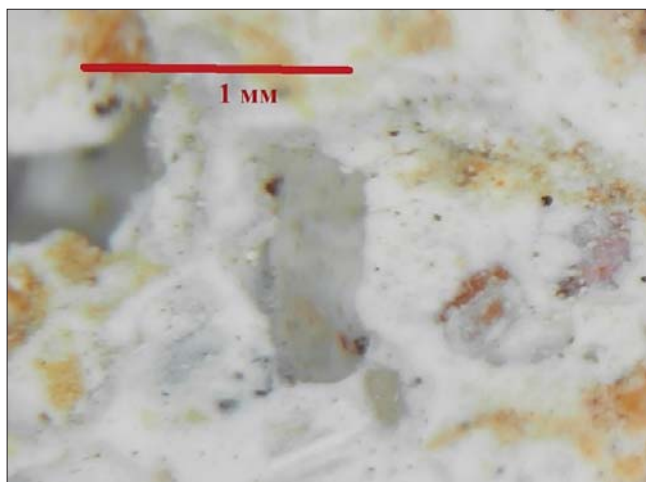
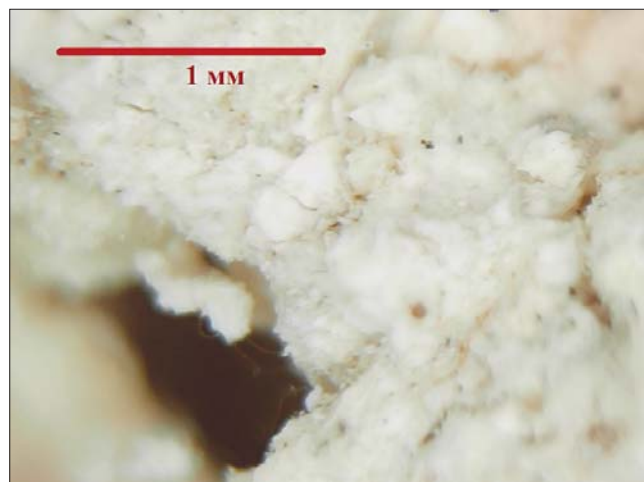


Рис. 11. Древние известковые растворы под оптическим микроскопом

Fig. 11. Ancient lime mortars under an optical microscope



грамм позволяет контролировать качество образованного за счет портландита микрокальцита (при наличии значимого количества первичного кальцита наиболее интенсивный рефлекс кальцита в области угла $2\theta \sim 29,4^\circ$ приобретает бимодальный облик) и на дифрактограммах с симметричным пиком основного отражения оценивать связанную с размером частиц ширину дифракционного пика на половине максимальной высоты (FWHM). При этом обнаруживается тенденция к увеличению значения FWHM по мере «омоложения» возраста растворов: можно констатировать: чем выше степень рекристаллизации кальцита в растворе, тем более древним является раствор и, естественно, кирпичная кладка и сам кирпич.

Учитывая вышеизложенное, были проведены масштабные исследования с целью определения степени рекристаллизации в известковых растворах древних кирпичных кладок. Для этого авторами были отобраны образцы известковых растворов на различных объектах архитектурного наследия Юга России и зарубежья (рис. 1–4). Разработан метод отбора образцов и метод подготовки препаратов для рентгеновских исследований для получения порошков заданного фракционного состава (0–50 мкм)

с исключением попадания первичного (природного) кальцита и минимальным содержанием других минералов – кварца, глинистых, железистых и других минералов.

Были выделены образцы-эталонные с подтвержденным историческим возрастом, на которые ориентировались при сравнении полученных рентгенограмм и которые подвергались съемке в каждой новой серии образцов [3, 11–14]. Изучены образцы природных карбонатных пород, находящихся около объектов отбора образцов, из которых предположительно получали известь для растворов. При отборе образцов и интерпретации результатов учитывались условия местоположения раствора и следующие факторы:

- влажные или сухие условия;
- солнечная сторона или затемненные условия;
- подземная или надземная часть сооружения;
- доступ углекислого газа и влаги из воздушной среды;
- температурные условия и др.

Эти факторы учитывались в связи с тем, что, как известно, скорости протекания химических реакций, а соответственно преобразования портландита в кальцит и его рекристаллизации во многом зависят от температуры и влажности.

В результате проведенных исследований были сделаны следующие предварительные выводы.

1. В образцах известковых растворов из строений XVIII в. и старше не обнаружено портландита (Ca(OH)_2 , проявляющегося на дифрактограммах пиками, соответствующими 2,63; 4,93; 1,93 Å). Это связано с его полным переходом в кальцит (рис. 5). Новообразованный кальцит имеет неравномерно-кристаллическую структуру с преобладанием в объеме микропористых агрегатов кристаллов и их массивных сростков размером менее 5 мкм (рис. 6).

2. При содержании в пробе для рентгеновского анализа двух видов кальцита – природного и вторичного, образованного из портландита, главный пик кальцита ($2\theta \approx 29,4^\circ$) приобретает бимодальный облик (рис. 5).

3. Максимальная степень рекристаллизации кальцита наблюдается у мраморов, меньшая – у мелоподобных известняков, но она всегда выше, чем у кальцита, образованного из портландита (рис. 7, 8).

4. Наблюдается четкая зависимость – чем выше возраст объекта и соответственно кирпичной или каменной кладки, подтвержденный архитектуроведческими и археологическими данными, тем выше степень рекристаллизации кальцита, образованного из портландита (рис. 9, 10).

5. Установлено, что рост рекристаллизации кальцита зависит от многих условий и предположительно

в первые столетия процесс идет более интенсивно, а с увеличением возраста скорость замедляется.

6. Под оптическим микроскопом не удается наблюдать кристаллики вторичного кальцита. При увеличении до 200 раз кальцит выглядит как мелоподобная мучнистая масса, хотя по общему фону видно, что идет процесс перекристаллизации (рис. 11). Под электронным микроскопом видны кристаллики вторичного кальцита, которые имеют характерный габитус и размеры от долей микрона до 5 мкм. Зависимость размеров кристалликов кальцита от возраста не установлена.

Проведенные исследования показали, что определение степени рекристаллизации кальцита в известковых растворах может стать хорошим дополнением к уже имеющимся методам определения возраста керамического кирпича и в целом памятников архитектурного наследия. На некоторых из изученных авторами объектах по степени рекристаллизации кальцита были подтверждены предположения исследователей истории архитектуры о существовании на них нескольких строительных этапов. Однако для разработки методики, учитывая сложность и многогранность поставленных задач, требуется накопление фактических данных, подбор эталонных образцов для различных регионов и, что самое главное, скоординированная работа различных специалистов.

Список литературы

1. Кочетов В.А. Римский бетон. М.: Стройиздат, 1991. 114 с.
2. Микульский В.Г., Горчаков Г.И., Козлов В.В. и др. Строительные материалы. М.: АСВ, 2004. 536 с.
3. Pishchulina V., Kotlyar V., Argun A. Integrated cross-disciplinary approach to dating the architectural heritage objects based on Abkhazia and Chechnya architectural monuments dating back from 2nd to 11th centuries. *Proceedings of the 2nd International Conference on Art Studies: Science, Experience, Education (ICASSEE 2018)*. Vol. 284, pp. 613-617. <https://doi.org/10.2991/icassee-18.2018.121>
4. Комарова Я.М., Алукер Н.Л., Бобров В.В., Сорокина Н.В. Датирование археологической керамики термолуминесцентным методом // *Неорганические материалы*. 2011. Т. 47. № 5. С. 614–618.
5. Мартынов А.И. Археология. М.: Высшая школа, 2002. 439 с.
6. Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Бахтин А.С., Бахтина Т.А., Любомирская Т.В. Исследование влияния режимов принудительного карбонатного твердения на свойства материалов на основе известково-известняковых композиций полусухого

References

1. Kochetov V.A. Rimskii beton [Roman concrete]. Moscow: Stroyizdat. 1991. 114 p.
2. Mikulsky V.G., Gorchakov G.I., Kozlov V.V. and other. Stroitel'nye materialy [Building materials]. Moscow: ASV. 2004. 536 p.
3. Pishchulina V., Kotlyar V., Argun A. Integrated cross-disciplinary approach to dating the architectural heritage objects based on Abkhazia and Chechnya architectural monuments dating back from 2nd to 11th centuries. *Proceedings of the 2nd International Conference on Art Studies: Science, Experience, Education (ICASSEE 2018)*. Vol. 284, pp. 613-617. <https://doi.org/10.2991/icassee-18.2018.121>
4. Komarova Ya.M., Aluker N.L., Bobrov V.V., Sorokina N.V. Dating archaeological ceramics by thermoluminescent method. *Neorganicheskie materialy*. 2011. Vol. 47. No. 5, pp. 614–618. (In Russian).
5. Martynov A.I. Arkheologiya [Archeology]. Moscow: Vysshaya shkola. 2002. 439 p. (In Russian).
6. Lyubomirsky N.V., Fedorkin S.I., Bakhtin A.S., Bakhtina T.A., Lyubomirskaya T.V. Research in influence of regimes of forced carbonate hardening on properties of materials on the basis of limelimestone compositions of semidry pressing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 8,

- прессования // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 7–12.
7. Любомирский Н.В., Бахтина Т.А., Бахтин А.С. Изменение физико-механических свойств известково-карбонатно-кальциевых материалов принудительного карбонатного твердения во времени // *Строительство и техногенная безопасность*. 2017. № 8 (60). С. 67–73.
 8. Котляр В.Д., Козлов А.В., Животков О.И., Козлов Г.А. Силикатный кирпич на основе зольных микросфер и извести // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 17–21.
 9. Горшков В.С., Савельев В.Г., Федоров Н.Ф. Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений. М.: Высшая школа, 1988. 400 с.
 10. Попов Ю.В., Цицуашвили Р.А., Попова Н.М. Микроминеральные ассоциации щелочного карбонатного геохимического барьера в горных выработках Белореченского барит-полиметаллического месторождения // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 5–6. С. 1248–1252.
 11. Kotlyar V.D. The calcite crystallinity and the age of limestone brick mortars of medieval objects of the north of the Vyzantine oecumene. *Materials and Technologies in Construction and Architecture II. Materials Science Forum – CATPID*. 2019. Vol. 974, pp. 83–89. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.67>
 12. Пищулина В.В., Котляр В.Д. Новые данные о хронологии средневековых архитектурных объектов северных провинций Византийской ойкумены. *Сборник научных трудов РААСН: Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 году*. Российская академия архитектуры и строительных наук. М., 2020. С. 72–81.
 13. Пищулина В.В., Котляр В.Д. Комплексные междисциплинарные подходы в датировке объектов архитектурного наследия IX–XI веков на примере Абхазии и Чечни. *Сборник материалов Международной научной конференции: Искусствознание: наука, опыт, просвещение*. М., 2019. С. 244–252.
 14. Pishchulina V., Kotlyar V., Argun A. The medieval lime mortars for carrying out dating of monuments (on the example of objects of Abkhazia of the 2–11th c.). *E3S Web Conf. Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018)*. 2019. Vol. 91. Article Number 02006. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102006>
 - pp. 7–12. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-751-8-7-12>. (In Russian).
 7. Lyubomirsky N.V., Bakhtina T.A., Bakhtin A.S. Changes in the physical and mechanical properties of calcareous-carbonate-calcium materials of forced carbonate hardening in time. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2017. No. 8 (60), pp. 67–73. (In Russian).
 8. Kotlyar V.D., Kozlov A.V., Zhivotkov O.I., Kozlov G.A. Calcium-silicate brick on the basis of microspheres and lime. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2018. No. 9, pp. 17–21. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-17-21> (In Russian).
 9. Gorshkov V.S., Savel'ev V.G., Fedorov N.F. Fizicheskaya khimiya silikatov i drugikh tugoplavkikh soedinenii [Physical chemistry of silicates and other refractory compounds]. Moscow: Vysshaya shkola. 1988. 400 p.
 10. Popov Yu.V., Tsitsuashvili R.A., Popova N.M. Micromineral associations of an alkaline carbonate geochemical barrier in mine workings of the Belorechensk barite-polymetallic deposit. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2014. No. 5–6, pp. 1248–1252. (In Russian).
 11. Kotlyar V.D. The calcite crystallinity and the age of limestone brick mortars of medieval objects of the north of the Vyzantine oecumene. *Materials and Technologies in Construction and Architecture II. Materials Science Forum – CATPID*. 2019. Vol. 974, pp. 83–89. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.67>
 12. Pishchulina V.V., Kotlyar V.D. New data on the chronology of medieval architectural objects of the northern provinces of the Vizantin Oikumena. *Collection of scientific works of the RAASN: Fundamental, exploratory and applied research of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences on the scientific support of the development of architecture, urban planning and construction industry of the Russian Federation in 2019*. Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. Moscow. 2020, pp. 72–81. (In Russian).
 13. Pishchulina V.V., Kotlyar V.D. Complex interdisciplinary approaches to dating objects of architectural heritage of the IX–XIth centuries on the example of Abkhazia and Chechnya. *Collection of materials of the International Scientific Conference: Art History: Science, Experience, Education*. Moscow. 2019, pp. 244–252. (In Russian).
 14. Pishchulina V., Kotlyar V., Argun A. The medieval lime mortars for carrying out dating of monuments (on the example of objects of Abkhazia of the 2–11th c.). *E3S Web Conf. Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018)*. 2019. Vol. 91. Article Number 02006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102006>

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

15 лет



Российская гипсовая ассоциация создана в октябре 2005 г. во время работы Международной научной конференции «Гипс, его исследование и применение». В учредительном собрании приняли участие 28 представителей научных, образовательных организаций, ведущих гипсовых предприятий, компаний и фирм, среди которых ВНИИСТРОМ им. П.П. Будникова, Научно-исследовательский институт строительной физики, Московский государственный строительный университет, компания «КНАУФ», корпорация «ВОЛМА», Самарский гипсовый комбинат и др.

22 марта 2006 г. получено свидетельство о государственной регистрации некоммерческой организации «Российская гипсовая ассоциация».

За 15 лет уверенного движения вперед на пути развития гипсовой отрасли России ассоциация постоянно пополняется новыми членами, число которых сегодня составляет уже пятьдесят пять.

Все эти годы журнал «Строительные материалы»[®] выступает надежным партнером и информационным спонсором мероприятий, проводимых совместно с РГА.

На 8–9 сентября 2021 г. запланировано проведение X Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий» в г. Воронеже.

Поздравляем РГА с 15-летним юбилеем! Желаем производственных и творческих успехов!

Вместе – к новым вершинам!



**8–9
сентября
2021 г.
г. Воронеж**

**Оргкомитет:
140050, Московская обл.
п. Красково
ул. К. Маркса, д. 117,
РГА
Телефон:
+7 8-916-501-36-56
E-mail: rga-service@mail.ru
www.rosgips.ru**

**Российская гипсовая ассоциация
Московский государственный строительный университет
Научно-исследовательский институт строительной физики**

**Десятая Международная конференция
«Повышение эффективности производства
и применения гипсовых материалов и изделий»**

Тематика конференции:

- технический прогресс в области гипсовых материалов и изделий (исследования, производство и применение)
- ангидритовые вяжущие
- гипсовые материалы в малоэтажном строительстве
- привлекательность и механизмы инноваций в гипсовой отрасли
- современное оборудование для производства гипсовых вяжущих, материалов и изделий на их основе
- лаборатории, менеджмент качества, экологический менеджмент и их роль в обеспечении качества и долговечности гипсовых материалов
- нормативно-техническая документация в соответствии с современными требованиями
- обучение и переподготовка специалистов в области производства и применения гипсовых материалов и изделий

Генеральный информационный спонсор: журнал



А.Н. КОРОВНИКОВ, канд. техн. наук, директор по продажам
НПК «Механобр-техника» (АО, 199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 22 линия, 3, корп. 5)

Новые грохоты для промышленности строительных материалов

A.N. KOROVNIKOV, Candidate of Sciences (Engineering), Sales Director
NPK Mekhanobr-Tekhnika (JSC, building 3/5, 22 Line, V.O., St. Petersburg, 199106, Russian Federation)

New Screens For the Construction Materials Industry

Повышение производительности и эффективности грохочения, а также надежности и ремонтпригодности грохотов является актуальной задачей для предприятий промышленности строительных материалов. С этой целью в рамках выполнения инновационных программ в НПК «Механобр-техника» разработаны инерционные грохоты ГИС-54 и ГИТ-72.

Кроме технологической целесообразности поводом для создания таких грохотов стала необходимость решения задачи импортозамещения. На предприятии «Гранит-Кузнечное» (ЗАО «ЛСР-Базовые материалы Северо-Запад») в составе установки Telsmith (США) эксплуатировались грохоты Sпестmaker и Vibro-King.

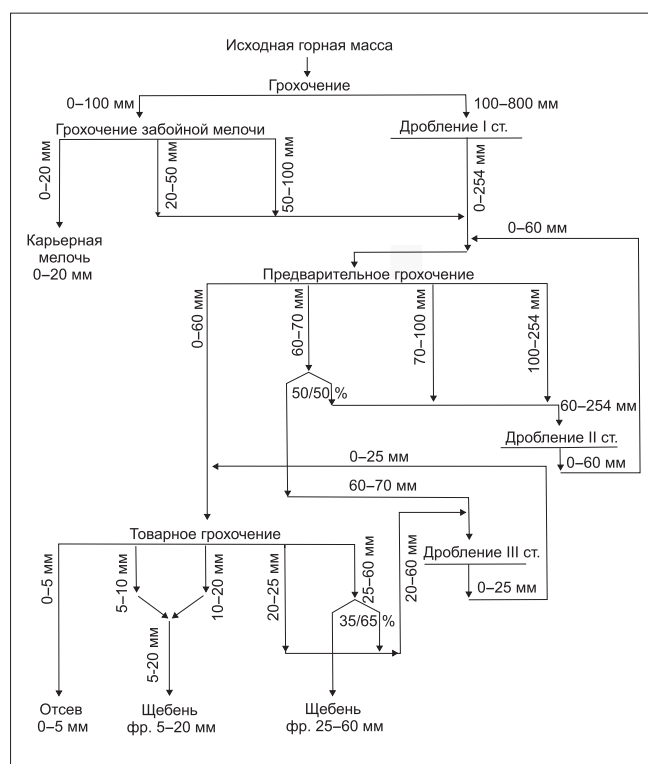


Рис. 1. Технологическая схема производства гранитного щебня фракций 25–60 и 5–20 мм на предприятии «Гранит-Кузнечное» на базе установки Telsmith (США).

Fig. 1. Technological scheme of production of granite crushed stone of fractions of 25–60 and 5–20 mm at the Granit-Kuznechnoe enterprise on the basis of the Telsmith plant (USA)

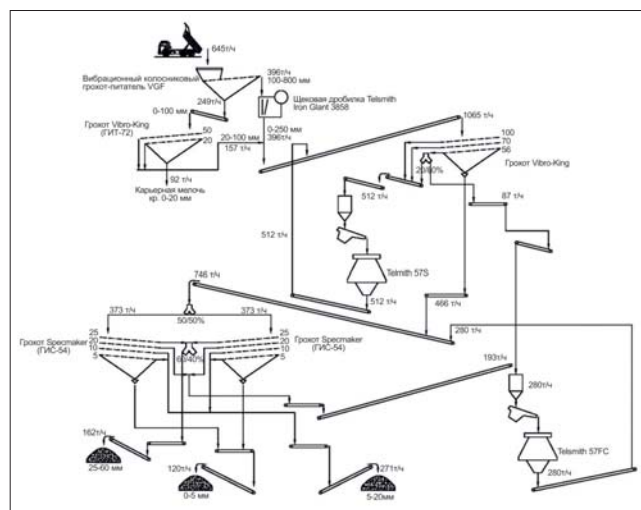


Рис. 2. Схема цепи аппаратов производства гранитного щебня фракций 25–60 и 5–20 мм на предприятии «Гранит-Кузнечное» на базе установки Telsmith (США).

Fig. 2. Diagram of the chain of devices for the production of granite crushed stone of fractions of 25–60 and 5–20 mm at the Granit-Kuznechnoe enterprise on the basis of the Telsmith plant (USA)

В рамках решения поставленных задач грохоты Sпестmaker были заменены грохотами ГИС-54, а грохот Vibro-King – грохотом ГИТ-72.

Применение грохотов НПК «Механобр-техника» в составе этой установки позволило достигнуть производительности 750 т/ч при разделении по крупности 5, 10, 20 и 25 мм с эффективностью грохочения 80–90% на грохоте ГИС-54 и производительности 1065 т/ч при разделении по крупности 20 и 50 мм с эффективностью грохочения 80–90% на грохоте ГИТ-72.

Технологическая схема производства гранитного щебня фракций 25–60 и 5–20 мм на предприятии «Гранит-Кузнечное» на базе установки Telsmith показана на рис. 1, 2; общий вид грохотов ГИС-54 и ГИТ-72 в составе установки – на рис. 3.

Отметим, что грохоты ГИС-54 и ГИТ-72 эксплуатируются на этом предприятии с 2009 г. и зарекомендовали себя как аппараты высокой надежности, обеспечивающие высокие техно-



Рис. 3. Грохоты производства НПК «Механобр-техника» в составе установки Telsmith (США) на предприятии «Гранит-Кузнечное»: а – ГИС-54; б – ГИТ-72

Fig. 3. Screens produced by NPK «Mekhanobr-tekhnika» as part of the Telsmith plant (USA) at the Granit-Kuznechnoe enterprise: a – GIS-54; b – GIT-72

логические показатели. Это стало возможным за счет технических решений, заложенных в конструкции грохотов, и прежде всего применения новых вибровозбудителей блочного типа,

обеспечивающих устойчивый динамический режим работы грохотов с колеблющейся массой 9,5 т и более, и увеличения жесткости конструкции.



100-летний опыт разработки технологий и оборудования для переработки всех видов полезных ископаемых, твердых промышленных отходов, любых других материалов

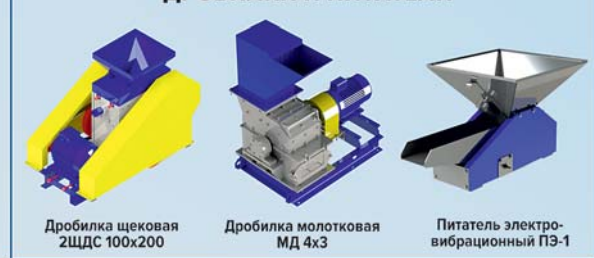
ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ



ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ



ДРОБИЛКИ И ПИТАТЕЛИ



ВИБРАЦИОННЫЕ ГРОХОТЫ



ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СЕПАРАТОРЫ



Санкт-Петербург, В.О., 22 линия, д. 3; +7(812) 331 02 42, 331 02 43; sales@mtspb.com; www.mtspb.com

И.В. СУСОЕВА¹, канд. техн. наук (i.susoeva@yandex.ru), Т.Н. ВАХНИНА¹, канд. техн. наук;
Ю.Б. ГРУНИН², д-р хим. наук; А.А. ТИТУНИН¹, д-р техн. наук (a_titunin@ksu.edu.ru)

¹ Костромской государственной университет (156005, г. Кострома, ул. Дзержинского, 17)

² Поволжский государственный технологический университет (424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3)

Оценка стабильности эксплуатационных показателей теплоизоляционных композитов по результатам натуральных стендовых испытаний

Исследовано изменение показателей теплоизоляционных плитных материалов на основе матрицы из термореактивного фенолоформальдегидного связующего и наполнителя из целлюлозосодержащих отходов переработки древесины, льна и хлопка в условиях натуральных стендовых испытаний на протяжении 12 мес. Приведены результаты определения прочности материалов при статическом изгибе, разбухания по толщине после 24 ч пребывания в воде, коэффициента теплопроводности. Образцы материала испытывались через 3, 6, 9 и 12 мес пребывания в атмосферных условиях. Композит имеет высокую стабильность физико-механических показателей при длительном воздействии переменных значений температуры и влажности. Полученный авторами теплоизоляционный композит из целлюлозосодержащих отходов на фенолоформальдегидном связующем после года испытаний в атмосферных условиях имеет остаточную прочность 0,87–0,9. Коэффициент теплопроводности материала изменяется в пределах 0,001–0,003 Вт/(м·К). Разброс полученных значений коэффициента теплопроводности материала сопоставим со случайным рассеянием данного параметра в эксперименте, обусловленным воздействием погрешности прибора и влиянием случайных факторов. В работе решена задача создания теплоизоляционного материала из неиспользуемых лигноцеллюлозных отходов, имеющего длительную стойкость к переменным температурно-влажностным воздействиям.

Ключевые слова: растительные отходы, лен, хлопок, древесина, теплоизоляционные композиты, предел прочности, статический изгиб, разбухание по толщине, коэффициент теплопроводности.

Для цитирования: Сусоева И.В., Вахнина Т.Н., Грунин Ю.Б., Титунин А.А. Оценка стабильности эксплуатационных показателей теплоизоляционных композитов по результатам натуральных стендовых испытаний // *Строительные материалы*. 2021. № 4. С. 58–66. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-58-66>

I.V. SUSOEVA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (i.susoeva@yandex.ru), T.N. VAKHNINA¹, Candidate of Sciences (Engineering);
Yu.B. GRUNIN², Doctor of Sciences (Chemistry); A.A. TITUNIN¹, Doctor of Sciences (Engineering) (a_titunin@ksu.edu.ru)

¹ Kostroma State University (17, Dzerzhinskogo Street, Kostroma, 156005, Russian Federation)

² Volga State Technological University (3, Lenina Square, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, 424000, Russian Federation)

Estimation of Stability of Operational Indicators Thermal Insulating Composites on the Results of Local Stand Tests

The changes in the parameters of thermal insulation plate materials based on a matrix of thermosetting phenol-formaldehyde binder and filler from cellulose-containing waste from the processing of wood, flax and cotton under the conditions of full-scale bench tests for 12 months were studied. The results of determining the strength of materials under static bending, thickness swelling after 24 hours in water, and the coefficient of thermal conductivity are presented. Samples of the material were tested after 3, 6, 9 and 12 months of stay in atmospheric conditions. The composite has a high stability of physical and mechanical parameters under prolonged impact of variable values of temperature and humidity. The thermal insulation composite obtained by the authors from cellulose-containing waste on a phenol-formaldehyde binder after a year of testing in atmospheric conditions has a residual strength of 0.87–0.9. The thermal conductivity coefficient of the material varies in the range of 0.001–0.003 W/m·K. The spread of the obtained values of the thermal conductivity coefficient of the material is comparable to the random scattering of this parameter in the experiment, due to the influence of the error of the device and the influence of random factors. The paper solves the problem of creating a thermal insulation material from unused lignocellulose waste that has a long-term resistance to variable temperature and humidity influences.

Keywords: vegetable waste, flax, cotton, wood, thermal insulating composites, tensile strength, static bending, swelling in thickness, thermal conductivity.

For citation: Susoeva I.V., Vakhnina T.N., Grunin Yu.B., Titunin A.A. Estimation of stability of operational indicators thermal insulating composites on the results of local stand tests. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 4, pp. 58–66. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-790-4-58-66>

Производство строительных материалов является приоритетной отраслью, определяющей многие области национальной экономики. Стратегическое развитие отрасли производства строительных материалов базируется на законодательных актах. Нормативная основа развития отрасли на современном этапе была заложена в Федеральном законе от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о

The production of building materials is a priority industry that determines many areas of the national economy. The strategic development of the building materials industry is based on legislative acts. The regulatory framework for the development of the industry at the present stage was laid down in the Federal Law of November 23, 2009 No. 261-FZ “On energy conservation and on increasing energy efficiency and on amendments to certain legislative acts of the Russian

внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». В соответствии с Федеральным законом необходимо при строительстве новых и реконструкции существующих зданий, строений, сооружений для повышения их энергоэффективности и осуществления мер по снижению их энергопотребления использовать эффективные теплоизоляционные материалы.

Согласно распоряжению Правительства РФ от 10.05.2016 № 868-р «Об утверждении Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года», для обеспечения стабильности развития отрасли необходимо разрабатывать и производить материалы, обладающие не только привлекательностью для потребителей по соотношению цены и качества, т. е. более конкурентоспособные, но и безопасные, экологически чистые, имеющие стойкость к возгоранию и длительный срок эксплуатации [1].

Кроме перехода на новый уровень энергоэффективности производства одной из основных тенденций в развитии промышленности строительных материалов в России и мире в настоящее время стало вовлечение отходов в производство и увеличение глубины переработки природных ресурсов.

Существенно важным условием обеспечения энергоэффективности конструкции является выбор теплоизоляционного материала со стабильным сопротивлением теплопередаче. Если теплоотдача зависит в большей степени от внешних факторов окружающей среды (лишь в незначительной степени от материала поверхности ограждения), то термическое сопротивление ограждающей конструкции здания зависит в основном от теплопроводности материалов. Для определения термического сопротивления необходимо знать коэффициенты теплопроводности λ материалов ограждающей конструкции, их расположение и размеры отдельных элементов.

Выбор материала элементов теплоизоляционной конструкции производится на основании нормативных требований (ранее – СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий», с 2013 г. – СП 50.13330.2012). Согласно СП 50.13330.2012, долговечность ограждающих конструкций следует обеспечивать применением материалов, имеющих надлежащую стойкость – морозостойкость, влагостойкость, биостойкость, коррозионную стойкость, стойкость к температурным воздействиям, в том числе циклическим.

Длительный срок эксплуатации строительного материала должен обеспечиваться стабильностью его эксплуатационных показателей. Одним из основных признаков старения материала является снижение прочности. Ослабляющее влияние на прочность материалов строительного назначения оказывает воздействие окружающей среды с переменными значениями температуры и влажности.

В условиях эксплуатации на строительные материалы, в том числе трехслойные конструкции (стеновые панели и т. п.) [2], действуют переменные

Federation». In accordance with the Federal Law, it is necessary to use effective heat-insulating materials in the construction of new and reconstruction of existing buildings to improve the energy efficiency of buildings, structures, structures, and to take measures to reduce their energy consumption.

According to the Order of the Government of the Russian Federation dated 05/10/2016 No. 868 “On approval of the Strategy for the development of the building materials industry for the period until 2020 and further prospects until 2030” to ensure the stability of the industry development, it is necessary to develop and produce materials that are not only attractive to consumers ratio of price and quality, that is, more competitive, but also safe, environmentally friendly, with resistance to fire and a long service life [1].

In addition to the transition to a new level of energy efficiency of production, one of the main trends in the development of the building materials industry in Russia and in the world is the involvement of waste in the production of building materials and an increase in the depth of processing of natural resources.

An essential condition for ensuring the energy efficiency of the structure is the choice of a heat-insulating material with a stable resistance to heat transfer. If heat transfer depends to a greater extent on external environmental factors (only to a small extent on the material of the fence surface), then the thermal resistance of the building envelope depends mainly on the thermal conductivity of the materials. To determine thermal resistance, it is necessary to know the thermal conductivity λ of the materials of the enclosing structure, their location and the dimensions of individual elements.

The choice of the material for the elements of the thermal insulation structure is made on the basis of regulatory requirements (previously – SNiP 23-02–2003 “Thermal protection of buildings”, since 2013 – SP 50.13330.2012). According to SP 50.13330.2012, the durability of the enclosing structures should be ensured by using materials that have adequate resistance - frost resistance, moisture resistance, biostability, corrosion resistance, resistance to temperature influences, including cyclic.

The long service life of the building material should be ensured by the stability of its performance. One of the main signs of material aging is a decrease in strength. The weakening effect on the strength of materials for construction purposes is exerted by the influence of the environment with variable values of temperature and humidity.

Under operating conditions, building materials, including three-layer structures (wall panels and others) [2] are subject to variable factors: heating, humidification, freezing, etc. According to B.S. Batalin, a change in the operational properties of heat-insulating materials can occur due to the occurrence of photo-oxidative and thermal-oxidative processes, as a result of which the molecular weight and molecular weight distribution change.

факторы: нагревание, увлажнение, замораживание и др. По мнению Б.С. Баталина, изменение эксплуатационных свойств теплоизоляционных материалов может происходить вследствие протекания фотоокислительных и термоокислительных процессов, в результате которых изменяется молекулярная масса и молекулярно-массовое распределение.

По мнению авторов, помимо этого причиной изменения эксплуатационных свойств могут являться и структурные изменения, которые происходят с течением времени и под действием сравнительно низкой температуры.

Как в конструкционных, так и в теплоизоляционных композиционных материалах с растительным наполнителем на основе матрицы из термореактивных связующих при изменениях температуры и влажности возникают напряжения в клеевом материале и наполнителе. При этом возможно параллельное протекание процессов гидролитической деградации полимерных составляющих композита и дополнительного структурирования. Влажные напряжения, развивающиеся в адгезионном слое клеевого соединения, по-разному действуют на полимер и склеиваемый материал. На границе жесткосетчатого полимера и растительного наполнителя с большей релаксирующей способностью будут возникать напряжения, передающиеся из зоны клеевого контакта. Высокой релаксирующей способностью обладают дискретные частицы из целлюлозосодержащих растительных материалов, таких как древесина и отходы однолетников. На величину возникающих в процессе эксплуатации напряжений в композите будет влиять структура растительного наполнителя – фракционный размер, пористость, наличие минеральных, экстрактивных, жировосковых веществ. Эти напряжения будут приводить к снижению прочности композита в целом.

Значимое влияние на стабильность показателей композита в условиях воздействия переменной температуры и влажности окружающей среды оказывает вид полимерной матрицы. Успешное применение любого полимерного материала в различных условиях зависит от его способности сохранять свои эксплуатационные свойства, т. е. от долговечности [3].

Для прогнозирования старения материалов в процессе эксплуатации используют методы натуральных испытаний или ускоренных циклических воздействий. При ускоренных циклических воздействиях можно оценить весь комплекс физико-механических и тепловых показателей материала [4]. Изменения тепловых характеристик материала – термического сопротивления и коэффициента теплопроводности могут быть оценены по результатам натуральных испытаний, стендовых или на реальном объекте [5].

Более информативными и точными (применительно к практическому использованию) являются методы натуральных испытаний [6–12].

Существуют графоаналитические методы сопоставления натуральных испытаний в атмосфере и кон-

According to the authors, in addition to this, structural changes that occur over time and under the influence of a relatively low temperature can also be the cause of changes in operational properties.

Both in structural and heat-insulating composite materials with a vegetable filler based on a matrix of thermosetting binders, stresses arise in the adhesive material and filler with changes in temperature and humidity. In this case, a parallel course of processes of hydrolytic destruction of polymer components of the composite and additional structuring is possible. Moisture stresses developing in the adhesive layer of the adhesive joint have different effects on the polymer and the material to be bonded. At the interface between a rigid mesh polymer and a vegetable filler with a greater relaxing ability, stresses will arise, transmitted from the adhesive contact zone. Discrete particles from cellulose-containing plant materials, such as wood and annual waste, have a high relaxing ability. The value of the stresses arising in the composite during operation will be influenced by the structure of the vegetable filler – fractional size, porosity, the presence of mineral, extractive, fatty substances. These stresses will lead to a decrease in the strength of the composite as a whole.

The form of the polymer matrix has a significant effect on the stability of the composite indicators under conditions of exposure to variable temperature and humidity. The successful use of any polymer material in various conditions depends on its ability to maintain its operational properties, that is, on durability [3].

To predict the aging of materials during operation, methods of full-scale tests or accelerated cyclic effects are used. With accelerated cyclic effects, it is possible to evaluate the entire complex of physical, mechanical and thermal parameters of the material [4]. Changes in the thermal characteristics of the material – thermal resistance and thermal conductivity coefficient can be estimated from the results of field tests, bench or on a real object [5].

More informative and accurate (in relation to practical use) are methods of full-scale tests [6–12].

There are grapho analytical methods for comparing field tests in the atmosphere and control laboratory samples of materials, which significantly reduce the complexity and time of research [13–15]. So, according to A.S. Freidin, the use of a graphic-analytical method for predicting the operation of materials in construction for a period of about 30 years (10^9 s) requires field tests for $5 \cdot 10^7$ s (about 1.5 years). However, the computational methods of analogies used for prediction [16] are theoretically justified for materials in a highly elastic state, and to a lesser extent are applicable to board materials on a thermosetting matrix. It is also difficult to apply the theory of random or degradation functions to predict the strength of composites from plant raw materials on thermosetting binders, which adequately describe systems from wood chips and mineral binder (such as cement particle boards) [2, 17, 18].

трольных лабораторных образцов материалов, значительно сокращающие трудоемкость и время проведения исследований [13–15]. Так, по данным А.С. Фрейдина, использование графоаналитического метода прогнозирования эксплуатации материалов в строительстве на срок порядка 30 лет (10^9 с) требует проведения натуральных испытаний в течение $5 \cdot 10^7$ с (около 1,5 лет). Однако применяемые для прогнозирования расчетные методы аналогий [16] теоретически обоснованы для материалов, находящихся в высокоэластичном состоянии, и в меньшей степени применимы к плитным материалам на терморепаративной матрице. Также затруднительно применение для прогнозирования прочности композитов из растительного сырья на терморепаративных связующих методов теории случайных или деградиационных функций, адекватно описывающих системы из древесной стружки и минерального вяжущего, таких как цементно-стружечные плиты [2, 17, 18].

Следует отметить, что трудоемкость и длительность натуральных испытаний снижают оперативность принятия решений по выбору технологических воздействий на материал. В процессе эксплуатации строительных материалов снижение их прочности является следствием остаточных технологических, температурных и влажностных напряжений, а также интенсивного влияния знакопеременных нагрузок.

Компоненты композита по-разному реагируют на колебания температуры и влажности. Лигноцеллюлозный наполнитель в условиях продолжительного воздействия воды длительное время является достаточно стойким. По данным Е.Н. Покровской [19], «ИК-спектры образцов древесины различного возраста показали отсутствие химических изменений в древесинном веществе во времени. Происходит лишь количественное изменение составляющих, а лигноуглеводный комплекс в условиях переменной влаги... проявляет устойчивость во времени». Однако физические характеристики материала целлюлозосодержащего наполнителя изменяются. Начальную стойкость к воздействию воды обеспечивают кристаллические участки целлюлозы. Внутрь кристаллитов целлюлозы адсорбат не проникает. Создание адсорбционного монослоя воды приводит к расклинивающим воздействиям в аморфной области целлюлозы и, как следствие, к разбуханию материала [20, 21], причем моноадсорбированная вода прочно связана с активной поверхностью адсорбента [22].

Как российские, так и зарубежные исследователи отмечают, что процесс сорбции оказывает существенное влияние на показатели композита из растительного наполнителя. Целлюлозосодержащий материал впитывает значительное количество влаги, не будучи погруженным в воду, а находясь в контакте с пропитанной водой поверхностью. По результатам исследований С.В. Федосова с коллегами, образец из древесины сосны через 40 ч нахождения в подобных условиях приобретает влажность 20–40% (на расстоянии от поверхности контакта 10–20 мм [23].

It should be noted that the labor intensity and duration of full-scale tests reduces the efficiency of decision-making on the choice of technological influences on the material. During the operation of building materials, a decrease in their strength is a consequence of residual technological, temperature and humidity stresses, as well as the intense influence of alternating loads.

Composite components react differently to fluctuations in temperature and humidity. Lignocellulosic filler is quite stable under conditions of prolonged exposure to water for a long time. According to E.N. Pokrovskaya [19], «IR spectra of wood samples of various ages showed the absence of chemical changes in wood substance in time. There is only a quantitative change in the components, and the ligno-carbohydrate complex under conditions of variable moisture ... shows stability over time». However, the physical characteristics of the cellulosic filler material change. Initial resistance to water is provided by the crystalline regions of cellulose. The adsorbate does not penetrate into the cellulose crystallites. The creation of an adsorbed water monolayer leads to wedging effects in the amorphous region of cellulose, and, as a consequence, to swelling of the material [20, 21], and the monoadsorbed water is firmly bound to the active surface of the adsorbent [22].

Both Russian and foreign researchers note that the sorption process has a significant effect on the performance of a composite made of vegetable filler. Cellulose-containing material absorbs a significant amount of moisture without being immersed in water, but in contact with a surface saturated with water. According to the research results of S.V. Fedosov and colleagues, a sample of pine wood after 40 hours of being in such conditions acquires a moisture content of 20–40% (at a distance of 10–20 mm from the contact surface) [23]. J. Zhu notes that the sensitivity of lignocellulosic composites to moisture is still an issue, with the properties of composites made from flax fibers being more dependent on the type of binder (thermoplastic, thermosetting materials or biomaterials) [24].

A.M. Eisenstadt and his colleagues note the test result of the developed heat-insulating composites made of pine bark – thermal conductivity coefficient 0.164 ± 0.04 W/(m·K), thickness swelling at partial immersion 6% [25].

The use of flax and cotton fibers as a filler makes it possible to provide high strength indicators of composite materials, while the strength of composites is inversely proportional to the proportion of lignocellulose filler [26, 27]. The strength of a composite with a vegetable filler is determined by the strength of the matrix of a thermosetting binder. It should be borne in mind that the combined change in humidity and temperature enhances the effect on the performance of the composite due to the synergistic effect [28].

In the laboratory of the Department of Logging and Woodworking Industries (LDP), Kostroma State University (Kostroma, Russia), composite board materials based on a matrix-phenol-formaldehyde resin and



Рис. 1. Стенд для испытаний в натуральных условиях
Fig. 1. Stand for testing in natural conditions



J. Zhu отмечает, что чувствительность лигноцеллюлозных композиционных материалов к влажности по-прежнему является проблемой, при этом свойства композиционных материалов, выполненных из волокон льна, в большей степени зависят от типа связующего (термопластичные, терморезактивные материалы или биоматериалы) [24].

А.М. Айзенштадт с коллегами отмечают результат испытаний разработанных теплоизоляционных композитов из сосновой коры – коэффициент теплопроводности $0,164 \pm 0,04$ Вт/(м·К), разбухание по толщине при частичном погружении 6% [25].

Использование в качестве наполнителя волокон льна и хлопка позволяет обеспечить высокие прочностные показатели композиционных материалов, при этом прочность композитов обратно пропорциональна доле лигноцеллюлозного наполнителя [26, 27]. Прочность композита с растительным наполнителем определяется прочностью матрицы из терморезактивного связующего. Следует учитывать, что совместное изменение влажности и температуры усиливает влияние на показатели композита за счет синергетического воздействия [28].

В лаборатории кафедры лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств (ЛДП) Костромского государственного университета исследованы на стойкость к температурно-влажностным воздействиям в условиях окружающей среды композиционные плитные материалы на основе матрицы – фенолоформальдегидной смолы и наполнителей из целлюлозосодержащих отходов (древесины,

fillers from cellulose-containing waste (wood, waste of spinning cotton and linen fibers). A composite material for thermal insulation purposes was made with an average density of 275 kg/m^3 , a thickness of 25 mm, a binder consumption of 30% of the filler weight. Samples of the material were dried at 100°C to a moisture content of $8 \pm 1\%$. Composite specimens were tested for static bending strength according to EN 310. To determine the strength of the samples, a testing machine 2166 R-5 was used (graduation 0.1 N). Samples were mounted on the legs of a testing machine. The load was applied at a constant rate until failure of the test specimen. The destruction of the sample occurred within (60 ± 30) s. The maximum load was recorded with an accuracy of 0.1 N, the

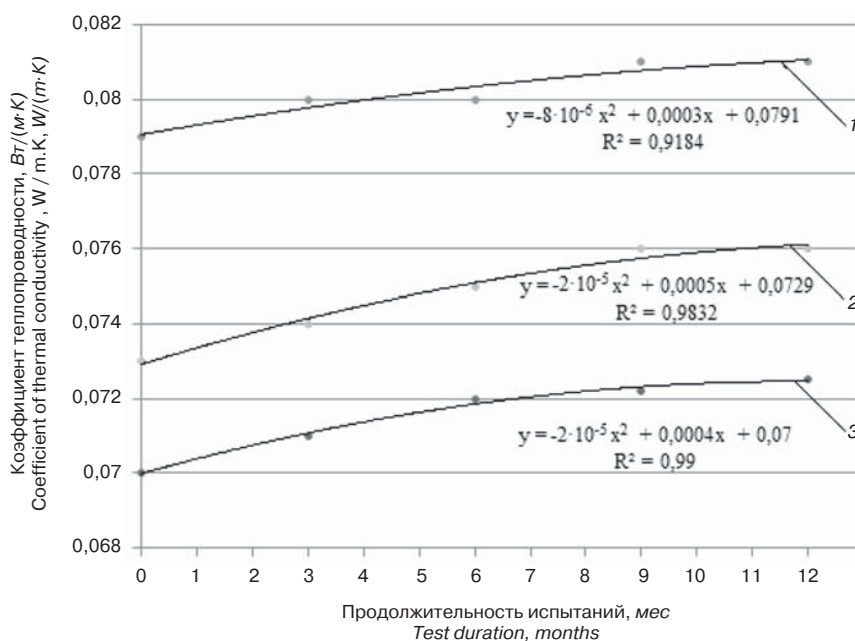


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопроводности от продолжительности испытаний: 1 – композит из отходов хлопка; 2 – композит из отходов льна и древесины; 3 – композит из льна
Fig. 2. Dependence of the thermal conductivity coefficient on the duration of the tests: 1 – composite from cotton waste; 2 – a composite of flax and wood waste; 3 – linen composite

Таблица 1
Table 1

Результаты определения физико-механических показателей композитов
Results of determining the physical and mechanical properties of composites

Период испытаний Test period	Предел прочности при статическом изгибе* σ_i , МПа Strength limit at static bending* σ_i , MPa			Разбухание по толщине P_s , % Swelling in thickness P_s , %		
	Хлопок Cotton	Лен Linen	Древесина + лен Wood + linen	Хлопок Cotton	Лен Linen	Древесина + лен Wood + linen
До испытаний (контрольные) Before testing (control)	0,49	0,61	0,55	13,9	8,3	12
3 мес 3 months	<u>0,48</u> 0,98	<u>0,59</u> 0,97	<u>0,53</u> 0,96	14,1	8,3	12,2
6 мес 6 months	<u>0,46</u> 0,94	<u>0,58</u> 0,95	<u>0,51</u> 0,93	14,3	8,5	12,5
9 мес 9 months	<u>0,44</u> 0,9	<u>0,56</u> 0,92	<u>0,49</u> 0,89	14,6	8,6	12,7
12 мес 12 months	<u>0,44</u> 0,9	<u>0,56</u> 0,92	<u>0,48</u> 0,87	14,8	8,8	13

* Под чертой остаточная прочность.
* Residual strength below the line.

отходов прядения хлопковых и льняных волокон). Композиционный материал теплоизоляционного назначения изготавливался средней плотности 275 кг/м³, толщиной 25 мм, расход связующего 30% от массы наполнителя. Образцы материала высушивались при 100°C до влажности 8±1%. Образцы композитов испытывались на прочность при статическом изгибе по EN 310. Для определения прочности образцов использовалась испытательная машина 2166 Р-5 (цена деления 0,1 Н). Образцы устанавливались на опоры испытательной машины. Нагрузку прикладывали с постоянной скоростью до разрушения испытуемого образца. Разрушение образца происходило в течение 60±30 с. Регистрировали максимальную нагрузку с точностью до 0,1 Н, определяли предел прочности образцов при статическом изгибе, МПа.

Определялось разбухание плит в % по толщине после 24 ч пребывания в воде. Для этого замерялась толщина образцов штангенциркулем с точностью 0,01 мм до и после пребывания в воде.

Значение коэффициента теплопроводности материала определялось с помощью измерителя теплопроводности ИТП-МГ4.

Для испытаний в натуральных условиях был изготовлен стенд, представленный на рис. 1. Изготовленные в лаборатории образцы были помещены в стенд, установленный на открытом воздухе. Отбор образцов

ultimate strength of the samples at static bending was determined, MPa.

The swelling of the slabs in% in thickness after 24 hours in water was determined. For this, the thickness of the samples was measured with a caliper with an accuracy of 0.01 mm before and after being in water.

The value of the thermal conductivity coefficient of the material was determined using the ITP-MG4 thermal conductivity meter.

For testing in natural conditions, a stand was made, shown in Fig. 1. Samples made in the laboratory were placed in an outdoor stand. Samples were taken for testing every 3 months. The results of determining the physical and mechanical properties of materials are presented

Результаты определения коэффициента теплопроводности композитов
Results of determining the coefficient of thermal conductivity composites

Таблица 2
Table 2

Период испытаний Test period	Коэффициент теплопроводности* λ , Вт/м·К Coefficient of thermal conductivity * λ , W/m·K		
	Хлопок Cotton	Лен Linen	Древесина + лен Wood + linen
До испытаний (контрольные) Before testing (control)	0,079	0,07	0,073
3 мес 3 months	<u>0,08</u> 0,001	<u>0,071</u> 0,001	<u>0,074</u> 0,001
6 мес 6 months	<u>0,08</u> 0,001	<u>0,072</u> 0,002	<u>0,075</u> 0,002
9 мес 9 months	<u>0,081</u> 0,002	<u>0,072</u> 0,002	<u>0,076</u> 0,003
12 мес 12 months	<u>0,081</u> 0,002	<u>0,072</u> 0,002	<u>0,076</u> 0,003

* Под чертой приращение коэффициента теплопроводности.
* Below the line is the increment of the thermal conductivity.

для испытаний производился каждые 3 мес. Результаты определения физико-механических показателей материалов представлены в табл. 1, коэффициента теплопроводности – в табл. 2 и на рис. 2.

Результаты проведенных длительных испытаний композиционного материала в условиях открытого атмосферного воздействия позволяют прогнозировать изменение показателей композита при экстремально долгом пребывании на строительной площадке без укрытия. Из табл. 1 видно, что максимальное увеличение разбухания композита по толщине составит 0,5–1% (в зависимости от состава наполнителя).

При длительном нахождении в атмосферных условиях остаточная прочность композитов на основе жестких полимеров обычно составляет 0,5 от начальной прочности [16]. Полученный авторами теплоизоляционный композит из целлюлозосодержащих отходов после года испытаний в атмосферных условиях имеет остаточную прочность 0,87–0,92.

Композит имеет высокую стабильность физико-механических показателей при длительном воздействии переменных значений температуры и влажности.

Коэффициент теплопроводности материала изменяется в пределах 0,001–0,003 Вт/(м·К), что сопоставимо со случайным рассеянием в эксперименте, обусловленным в числе прочих факторов воздействием погрешности прибора.

Таким образом, результаты проведенных натуральных испытаний позволяют рекомендовать композиционные плитные материалы на основе фенолоформальдегидного связующего и наполнителя из целлюлозосодержащих отходов, включая мягкие древесные отходы и невозвратные отходы прядения льняного и хлопкового волокна, в качестве долговечного теплоизоляционного материала в составе ограждающих строительных конструкций.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 10.05.2016 № 868-р. Об утверждении Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года. <http://www.consultant.ru> (дата обращения 23.11.2020).
2. Запруднов В.И. Трехслойные конструкции с древесно-цементными теплоизоляционными слоями: Монография. М.: МГУЛ, 2006. 322 с.
3. Баталин Б.С., Красновских М.П. Долговечность и термическая устойчивость пенополистирола // *Строительные материалы*. 2014. № 8. С. 64–67.
4. Сусоева И.В., Вахнина Т.Н., Титунин А.А., Асаткина Я.А. Показатели композитов из растительного сырья при изменениях температуры и влажности // *Инженерно-строительный журнал*. 2017. № 3 (71). С. 39–50.

in Table. 1, the coefficient of thermal conductivity – in Table 2, Fig. 2.

The results of the conducted long-term tests of the composite material under open atmospheric exposure make it possible to predict the change in the indicators of the composite during an extremely long stay at the construction site without shelter. Table 1 shows that the maximum increase in the swelling of the composite in thickness will be 0.5–1% (depending on the composition of the filler).

With prolonged exposure to atmospheric conditions, the residual strength of composites based on rigid polymers is usually 0.5 of the initial strength [16]. The heat-insulating composite obtained by the authors from cellulose-containing waste after a year of testing in atmospheric conditions has a residual strength of 0.87–0.9.

The composite has a high stability of physical and mechanical properties under prolonged exposure to variable values of temperature and humidity.

The thermal conductivity of the material varies in the range of 0.001–0.003 W/m·K, which is comparable with random scattering in the experiment, caused, among other factors, by the influence of the device error.

Thus, the results of the conducted field tests make it possible to recommend composite board materials based on a phenol-formaldehyde binder and a filler made of cellulose-containing waste, including soft wood waste and irrecoverable waste from spinning flax and cotton fibers, as a durable heat-insulating material in the composition of enclosing building structures.

References

1. Order of the Government of the Russian Federation of 05/10/2016 No. 868-r. On the approval of the Strategy for the development of the construction materials industry for the period up to 2020 and further perspective until 2030 (Electronic resource) URL: <http://www.consultant.ru> (date of access: 23.11.2020).
2. Zaprudnov V.I. Trekhslonnyye konstruksii s drevesnotsementnymi teploizolyatsionnymi slojami [Three-layer constructions with wood-cement heat-insulating layers]. Moscow: MGUL. 2006. 322 p.
3. Batalin B.S., Krasnovskikh M.P. Durability and heat resistance of foam polystyrene. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 8, pp. 64–67. (In Russian).
4. Susoeva I.V., Vakhnina T.N., Titunin A.A., Asatkina J.A. The performance of composites from vegetable raw materials with changes in temperature and humidity. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. No. 3 (71), pp. 39–50.
5. Mureev P.N., Kotlov V.G., Makarov A.N., Ivanov A.V., Fedosov S.V. A method for determining changes in thermal resistance and thermal conductiv-

5. Муреев П.Н., Котлов В.Г., Макаров А.Н., Иванов А.В., Федосов С.В. Способ определения изменений термического сопротивления и коэффициента теплопроводности по толщине наружного стенового ограждения при теплофизических испытаниях в натуральных условиях. *Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов. Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Института строительства и архитектуры ПГТУ*. 2019. С. 225–234.
6. Турковский С.Б., Варфоломеев Ю.А. Результаты натурных обследований деревянных конструкций // *Промышленное строительство*. 1984. № 6. С. 19–20.
7. Хрулев В.М. Долговечность клеевых соединений древесины, пропитанной синтетическими олигомерами // *Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура*. 1969. № 2. С. 61–68.
8. Касаткин В.Б., Бондин В.Ф. Долговременные испытания армодеревянных балок в условиях Крайнего Севера // *Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура*. 1972. № 11. С. 12–14.
9. Турковский С.Б. Опыт применения клееных деревянных конструкций в Московской области. Вып. 2. М.: Стройиздат, 1987. 54 с.
10. Киселева О.А., Плотникова Е.Е., Ярцев В.П. Влияние климатических воздействий на прочность строительных изделий из модифицированной древесины. *Материалы V Международной научно-технической конференции «Эффективные строительные конструкции: теория и практика»*. Пенза, 2006. С. 147–150.
11. Турковский С.Б., Ломакин А.Д., Погорельцев А.А. Зависимость состояния клееных деревянных конструкций от влажности окружающего воздуха // *Промышленное и гражданское строительство. Труды института*. М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. 2012. № 3. С. 30–32.
12. Raknes E. Langtidsbestandighet av limforbaerendetrekonstruksjoner // *Norsk Skog industri*. 1975. Vol. 30. No. 6, pp. 455–469.
13. Фрейдин А.С., Вуба К.Т. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины. М.: Лесная промышленность, 1980. 223 с.
14. Ананьев А.И., Лобов О.И., Можяев В.П., Вязовченко П.А. Фактическая и прогнозируемая долговечность пенополистирольных плит в наружных ограждающих конструкциях зданий // *Промышленное и гражданское строительство*. 2003. № 4. С. 54–56.
15. Ясин Ю.Д., Ясин В.Ю., Ли А.В. Пенополистирол. Ресурс и старение материала. Долговечность конструкций // *Строительные материалы*. 2002. № 5. С. 33–35.
16. Фрейдин А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений. М.: Химия, 1981. 272 с.
17. Utkina V.N., Selyayev V.P. Forecasting the durability of building materials and structures using the degradation coefficient along the thickness of the outer wall during thermophysical tests in natural conditions. *Actual problems of construction and road complexes. Materials of the international scientific and technical conference dedicated to the 50th anniversary of the Institute of Civil Engineering and Architecture of PSTU*. 2019, pp. 225–234. (In Russian).
6. Turkovskiy S.B., Varfolomeyev Yu.A. Results of fullscale inspections of wooden structures. *Promyshlennoye stroitelstvo*. 1984. No. 6, pp. 19–20. (In Russian).
7. Khrulev V.M. Durability of glued wood compounds impregnated with synthetic oligomers. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo i arkhitektura*. 1969. No. 2, pp. 61–68. (In Russian).
8. Kasatkin V.B., Bondin V.F. Long-term tests of armored wooden beams in the conditions of the Far North. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo i arkhitektura*. 1972. No. 11, pp. 12–14. (In Russian).
9. Turkovskiy S.B. Opyt primeneniya kleynykh derevyannykh konstruksiy v Moskovskoy oblasti [Experience in the application of glued wooden structures in the Moscow region]. Is. 2. Moscow: Stroyizdat. 1987. 54 p.
10. Kiseleva O.A., Plotnikova Ye.Ye. Yartsev V.P. Influence of climatic influences on strength of building products from modified wood. *Proceedings of the V International Scientific and Technical Conference “Effective Building Constructions: Theory and Practice”*. Penza. 2006, pp. 147–150. (In Russian).
11. Turkovskiy S.B., Lomakin A.D., Pogoreltsev A.A. Dependence of the state of glued wooden structures on the humidity of the ambient air. *Industrial and civil engineering. Institute of Institution*. Moscow: TsNIISK im. V.A. Kucherenko. 2012. No. 3, pp. 30–32. (rus).
12. Raknes E. Langtidsbestandighet av limforbaerendetrekonstruksjoner // *Norsk Skog industri*. 1975. Vol. 30. No. 6, pp. 455–469.
13. Freydin A.S., Vuba K.T. Prognozirovaniye svoystv kleyevykh soyedineniy drevesiny [Forecasting properties of glued wood compounds]. Moscow: Lesnaya promyshlennost. 1980. 223 p.
14. Ananyev A.I., Lobov O.I., Mozhayev V.P., Vyazovchenko P.A. Actual and predicted durability of expanded polystyrene boards in external enclosing structures of buildings. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo*. 2003. No. 4, pp. 54–56. (In Russian).
15. Yasin Yu.D., Yasin V.Yu., Li A.V. Styrofoam. Resource and aging of the material. Durability of structures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2002. No. 5, pp. 33–35. (In Russian).
16. Freydin A.S. Prochnost i dolgovechnost kleyevykh soyedineniy [Strength and durability of adhesive joints]. Moscow: Khimiya. 1981. 272 p.
17. Utkina V.N., Selyayev V.P. Forecasting the durability of building materials and structures using the deg-

17. Уткина В.Н., Селяев В.П. Прогнозирование долговечности строительных материалов и конструкций методом деградационных функций. *Материалы научно-практической конференции «Долговечность строительных материалов и конструкций»*. Саранск. 1995. С. 74–75.
18. Селяев В.П., Меркулов И.И., Меркулов А.И. Численное моделирование механического разрушения трехкомпонентного древесно-наполненного композита // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 1997. № 9. С. 62–67.
19. Покровская Е.Н. Влияние старения на структуру и свойства полимерного композита древесины. *Материалы международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса»*. Кострома: КГТУ, 2012. С. 29–31.
20. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб.: Лань, 2010. 624 с.
21. Грунин Ю.Б., Грунин Л.Ю., Шевелева Н.Н., Масас Д.С., Федосов С.В., Котлов В.Г. Характер изменения надмолекулярной структуры целлюлозы в процессе ее увлажнения // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2017. № 2 (368). С. 233–237.
22. Грунин Ю.Б., Грунина Т.Ю., Иванова М.С., Федосов С.В., Котлов В.Г. Изучение методом ЯМР-1H-релаксации характера надмолекулярных перестроек хлопковой целлюлозы в результате ее биохимической деградации // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2019. № 5 (383). С. 124–130.
23. Федосов С.В., Котлов В.Г., Алоян Р.М., Бочков М.В., Иванова М.А. Методика экспериментального исследования массопроводных характеристик волокнистых и древесно-волокнистых материалов // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2016. № 5 (365). С. 90–93.
24. Jinchun Zhu. Recent development of flax fibres and their reinforced composites based on different polymeric matrices // *Materials*. 2013. No. 6, pp. 5171–5198. DOI: 10.3390/ma6115171
25. Килюшева Н.В., Данилов В.Е., Айзенштадт А.М. Теплоизоляционный материал из коры сосны и ее экстракта // *Строительные материалы*. 2016. № 11. С. 48–50.
26. Baiardo M., Zini E., Scandola M. Flax fibre–polyester composites // *Composites: Part A*. 2004. Vol. 35, pp. 703–710. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2004.02.004>
27. Mohini Saxena, Asokan Pappu. Composite materials from natural resources: recent trends and future potentials // *Advances in Composite Materials – Analysis of Natural and Man-Made Materials*. 2011. Vol. 09, pp. 121–157. DOI: 10.5772/18264
28. Vistasp M. Karbhari. Durability of composites for civil structural applications. Elsevier Science. 2007. 400 p.
- radation function. *Proceedings of the scientific-practical conference “Durability of building materials and structures”*. Saransk. 1995, pp. 74–75.
18. Selyayev V.P., Merkulov I.I., Merkulov A.I. Numerical simulation of mechanical fracture of a threecomponent wood-filled composite. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo*. 1997. No. 9, pp. 62–67. (In Russian).
19. Pokrovskaya Ye.N. Effect of aging on the structure and properties of the polymer composite wood. *Proceedings of the international scientific and technical conference “Actual problems and prospects for the development of the timber industry complex”*. Kostroma: KGTU. 2012, pp. 29–31. (In Russian).
20. Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaia A.V. Khimiia drevesiny i sinteticheskikh polimerov [Chemistry of wood and of synthetic polymers]. St. Petersburg: Lan'. 2010. 624 p.
21. Grunin Yu.B., Grunin L.Yu., Sheveleva N.N., Masas D.S., Fedosov S.V., Kotlov V.G. The character of changes in the cellulose supramolecular structure during hydration. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2017. No. 2 (368), pp. 233–237. (In Russian).
22. Grunin Yu.B., Grunina T.Yu., Ivanova M.S., Fedosov S.V., Kotlov V.G. A 1H-NMR-relaxation study of cotton cellulose supramolecular restructuring as the result of its biochemical degradation. *Izvestiya vysshikh educational institutions. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2019. No. 5 (383), pp. 124–130. (In Russian).
23. Fedosov S.V., Kotlov V.G., Aloyan R.M., Bochkov M.V., Ivanova M.A. Technique of experimental investigation of massconductivity characteristics of fibrous and wood-fiber materials. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2016. No. 5 (365), pp. 90–93. (In Russian).
24. Jinchun Zhu. Recent development of flax fibres and their reinforced composites based on different polymeric matrices. *Materials*. 2013. No. 6, pp. 5171–5198. DOI: 10.3390/ma6115171
25. Kilyusheva N.V., Danilov V.E., Aizenshtadt A.M. Thermal insulation material from pine bark and its extract. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2016. No. 11, pp. 48–50. (In Russian).
26. Baiardo M., Zini E., Scandola M. Flax fibre–polyester composites. *Composites: Part A*. 2004. Vol. 35, pp. 703–710. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2004.02.004>
27. Mohini Saxena, Asokan Pappu. Composite materials from natural resources: recent trends and future potentials. *Advances in Composite Materials – Analysis of Natural and Man-Made Materials*. 2011. Vol. 09, pp. 121–157. DOI: 10.5772/18264
28. Vistasp M. Karbhari. Durability of composites for civil structural applications. Elsevier Science. 2007. 400 p.

УДК 692.415

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-789-3-67-71>

И.К. ДОМАНСКАЯ, канд. техн. наук (i.k.domanskaya@urfu.ru),

Н.И. ФОМИН, инженер, доцент (ni.fomin@urfu.ru)

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19)

Анализ причин возникновения дефектов ПВХ мембраны, вызвавших протечки мягкой кровли

Полимерные гибкие рулонные гидроизоляционные материалы (мембраны) получили широкое распространение при устройстве плоских и малоуклонных крыш зданий и сооружений. Прогнозируемый срок их службы составляет не менее 20 лет, однако иногда он наступает значительно раньше. Представлены результаты анализа наиболее вероятных причин, обусловивших нарушение сплошности ПВХ мембраны и образование протечек мягкой кровли промышленного здания спустя полтора года после ее монтажа. В качестве наиболее вероятных факторов, вызвавших дефекты покрытия (трещины разного вида и размера) и в конечном итоге протечки кровли, рассматриваются несоблюдение требований, предъявляемых к условиям транспортирования, хранения и монтажа ПВХ мембран при отрицательных температурах, а также биологический внешний воздействующий фактор (коррозионное действие помета синантропных птиц).

Ключевые слова: ПВХ мембрана, кровельное покрытие, мягкая кровля, протечки, условия монтажа, отрицательные температуры, биокоррозия.

Для цитирования: Доманская И.К., Фомин Н.И. Анализ причин возникновения дефектов ПВХ мембраны, вызвавших протечки мягкой кровли // *Строительные материалы*. 2021. № 3. С. 67–71. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-789-3-67-71>

I.K. DOMANSKAYA, Candidate of Sciences (Engineering) (i.k.domanskaya@urfu.ru), N.I. FOMIN, Engineer, Associate Professor (ni.fomin@urfu.ru) Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (19, Mira Street, Yekaterinburg, 620002, Russian Federation)

Analysis of the Causes of PVC Membrane Defects that Caused Soft Roof Leaks

Polymer flexible roll waterproofing materials (membranes) are widely used in the construction of flat and low-slope roofs of buildings and structures. Their projected service life is at least 20 years, but sometimes it comes much earlier. The results of the analysis of the most probable causes that caused the violation of the continuity of the PVC membrane and the formation of leaks of the soft roof of an industrial building after 1.5 years since its installation are presented. As the most likely factors that caused coating defects (cracks of different types and sizes) and, ultimately, roof leaks, are considered: non-compliance with the requirements for the conditions of transportation, storage and installation of PVC membranes at negative temperatures, as well as a biological external influencing factor (the corrosive effect of synanthropic bird droppings).

Keywords: PVC membrane, roofing, soft roof, leaks, installation conditions, negative temperatures, biocorrosion.

For citation: Domanskaya I.K., Fomin N.I. Analysis of the causes of PVC membrane defects that caused soft roof leaks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 3, pp. 67–71. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-789-3-67-71>

При устройстве кровель на малоуклонных совмещенных крышах промышленных, торговых и складских зданий широкое распространение получили полимерные гибкие рулонные материалы (ПГРМ), называемые полимерными мембранами. Для их производства применяют главным образом три группы полимеров: термопласты, эластомеры и термопластичные эластомеры; для повышения прочности и деформативности в соответствии с ГОСТ Р 57417–2017 допускается армирование полотен минеральными или полимерными волокнами. В качестве основных достоинств мембран называют относительно низкую трудоемкость монтажа и возможность укладки при отрицательных температурах; хорошую водо- и химическую стойкость, ремонтно-пригодность и др. Прогнозируемый срок службы полимерных кровельных покрытий при условии соблюдения требуемых параметров их изготовления, технологии укладки и условий эксплуатации составляет от 20 до 40 лет и более [1–8]. Вместе с тем встречаются публикации, свидетельствующие о случаях появления протечек мягких кровель, покрытых ПГРМ, спустя два-три года после монтажа [9, 10].

Подобная ситуация произошла с кровельным покрытием на здании складского комплекса в г. Екатеринбурге. Крыша склада совмещенная, малоуклонная. Кровля мягкая с минераловатным утеплителем, выполненная по стальному профилированному настилу; покрытие кровли выполнено из ПГРМ на основе термопласта (ПВХ мембрана), содержащего, по данным производителя, армирующую полимерную синтетическую сетку. Площадь кровли составляет около 15 тыс м². Работы по монтажу кровельного покрытия проводились в зимний период, первые протечки отмечены спустя полтора года после его завершения.

В рамках строительно-технической экспертизы авторами проведены натурные и лабораторные исследования кровельного покрытия указанного объекта. Цель исследований – установить причины нарушения сплошности ПГРМ, повлекшие за собой протечки мягкой кровли.

Натурные и экспериментальные исследования кровельного покрытия

Гидроизоляционное покрытие кровли складского комплекса выполнено в виде соединенных сваркой

полос шириной 1500 мм; имеет серый цвет с небольшими колебаниями оттенка от светло-серого до серовато-коричневатого. Натурные исследования выявили следующие виды дефектов покрытия:

– следы ремонтных работ в виде крупных заплат прямоугольной формы, а также в виде небольших, размером до 50–100 мм, пятен белого цвета, представляющих собой высохшую замазку-герметик (рис. 1);

– небольшие пятна округлой формы, часто в виде правильных концентрических окружностей, отличающихся более темным или более светлым оттенком от основного фона покрытия (рис. 2); в центре некоторых окружностей имелись сквозные трещины (рис. 3); в центре других – следы птичьего помета, под которым обнаруживался размягченный, практически обесцвеченный поверхностный слой покрытия (рис. 4);

– длинноразмерные единичные повреждения в виде трещин, проходящих перпендикулярно направлению укладки рулонов покрытия (рис. 5).

Лабораторные исследования фрагментов ПГРМ, которые были отобраны и испытаны в соответствии с требованиями ГОСТ 2678–94, показали, что кровельное покрытие соответствует требованиям, предъявляемым к качеству материалов аналогичного назначения (см. таблицу).

Обсуждение результатов

К наиболее вероятным причинам, обуславливающим протечки мягких кровель в начальный период эксплуатации, можно отнести следующие:

- дефекты кровельного материала, возникшие в процессе его изготовления (заводской брак);
- ошибки проектирования конструкции крыши;
- нарушения технологии укладки ПГРМ;
- эксплуатационные повреждения кровли в результате действия природных и/или техногенных факторов.

Лабораторные исследования показали, что качество использованной партии ПГРМ, даже спустя три

Сравнительная характеристика основных показателей качества исследуемого ПГРМ и материалов аналогичного назначения
Comparative characteristics of the main quality indicators of the studied PFRM and materials of similar purpose

Показатель	Значения показателей	
	для исследуемого кровельного гидроизоляционного покрытия	для полимерных кровельных и гидроизоляционных материалов на основе термопластичных полимеров, армированных полимерными волокнами по ГОСТ 30547–97
Разрывная сила при растяжении, или условная прочность, МПа	13,87	Не менее 9
Относительное удлинение при разрыве	125,3%	Не менее 60%
Водопоглощение, % по массе, в течение 24 ч	1,06	Не более 2
Гибкость	Выдерживает (нет трещин) на бруске с закруглением радиусом 5 мм, при температуре – 20°C	Выдерживает (нет трещин) на бруске с закруглением радиусом не более 5 мм, при температуре не выше – 20°C



Рис. 1. Следы ремонтных работ
Fig. 1. Repair work marks



Рис. 2. Внешний вид дефектов в виде округлых пятен
Fig. 2. The appearance of defects in the form of rounded specks



Рис. 3. Сквозные трещины в центральной части пятна

Fig. 3. Through cracks in the central part of the speck



Рис. 4. Обесцвеченная поверхность покрытия под слоем птичьего помета

Fig. 4. Discolored surface under the droppings

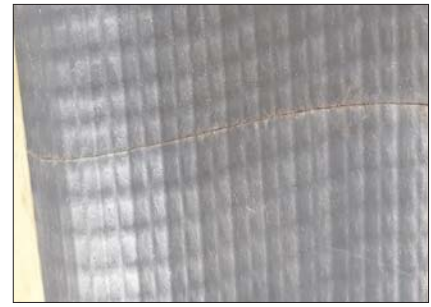


Рис. 5. Трещина на тыльной стороне полимерного покрытия

Fig. 5. Crack on the back of the polymer coating

года после эксплуатации в виде кровельного покрытия, соответствует необходимым требованиям; следовательно, причина нарушения его сплошности не связана с заводским браком.

Анализ проектной документации по кровле складского комплекса не выявил каких-либо ошибок, способных вызвать разгерметизацию кровельного покрытия и, как следствие, протечку мягкой кровли.

Качество монтажных работ: устройство швов, стыков и примыканий кровельного покрытия – в целом удовлетворительное и не вызывает нареканий. Вместе с тем важно отметить, что монтаж кровли производили в зимний период, следовательно, требовалось максимально строгое соблюдение условий технологической дисциплины, включая условия транспортирования, хранения и укладки кровельного материала [11, 12]. Например, необходимо было обеспечивать предварительную его выдержку при положительной температуре: «Полимерные рулонные материалы на основе ПВХ перед укладкой следует выдержать при температуре от 10°C до 25°C не менее 6 ч» (пп. 5.1.18 СП 71.13330).

По сравнению с другими кровельными материалами ПВХ мембраны очень чувствительны к температурно-влажностным условиям хранения и укладки. Это объясняется, с одной стороны, значительным влиянием температуры на состояние макромолекул термопластичных полимеров (при охлаждении снижается их подвижность, что отражается на пластических свойствах и способности к деформациям материалов на их основе), с другой – немаловажную роль играет макро- и микроскопическое строение самих мембран, включающее определенное количество открытых пор (водопоглощение до 2%). Следовательно, обладая гигроскопичностью, ПГРМ могут накапливать влагу, которая при замерзании расширяется, что делает материал более хрупким. Чем ниже температура окружающей среды, тем более вероятно охрупчивание ПВХ-мембран.

На основании исполнительной документации было установлено, что в отдельные дни монтажа кровельного покрытия складского комплекса температура воздуха опускалась до значений: от -21,4 до -28,6°C. Это значит, что опасность образования микротрещин, особенно при резком разворачивании рулонов, весьма вероятна. Подобные дефекты не

видны на лицевой поверхности уложенного покрытия и в начальный период эксплуатации, как правило, не вызывают протечек. С течением времени, при периодическом водонасыщении поверхностного слоя покрытия в летний период и особенно при его периодическом замораживании-оттаивании в межсезонье, такие микротрещины начинают раскрываться, что и приводит к протечкам кровли.

Обнаруженные длинноразмерные дефекты покрытия в виде трещин с тыльной стороны (рис. 5), расположенные перпендикулярно направлению укладки рулонов, а также следы ремонтных работ в виде крупных заплат указывают на одну из наиболее вероятных причин появления протечек – несоблюдение правил монтажа кровельного покрытия при отрицательных температурах. Нельзя исключать и несоблюдение правил транспортирования и хранения ПГРМ до их укладки на кровле.

Были выявлены также эксплуатационные повреждения кровли, которые можно отнести в соответствии с ГОСТ 26883–86 к биологическим внешним воздействующим факторам. Речь идет о мало-размерных дефектах кровельного покрытия, вызванных коррозионным действием птичьего помета синантропных (сосуществующих с человеком, но не домашних) птиц (рис. 2–4).

Известно, что птичий помет содержит высокую концентрацию химически активных, в частности азотистых, соединений. По этой причине его используют как удобрение, причем наиболее концентрированное и быстродействующее из всех других органических удобрений [13]. По этой же причине, учитывая, что преобладающая часть химических компонентов находится в водорастворимой форме, птичий помет относят к разряду опасных отходов [14]. Установлено, что помет птиц, в частности диких голубей, питающихся в городских условиях, обладает высокой кислотностью и вносит определенный вклад в разрушение строительных конструкций из-за развивающихся на поверхности материалов микробиологических процессов [15].

В данном случае можно предположить следующий механизм биокоррозии: водорастворимые компоненты помета синантропных птиц проникают в поверхностный слой полимерного кровельного покрытия и за счет капиллярных явлений равномерно распределяются по окружности. Скорость диффузии и соот-

ветственно радиус распространения водорастворимых компонентов разного состава будет различным (по принципу хроматографической колонки). Дождевые осадки, по всей видимости, вызывают дополнительные процессы растворения компонентов помета и обуславливают наличие концентрических окружностей и величину диаметра пятен (рис. 2–4).

В зависимости от состава помета (вид птицы, особенности питания и др.) и погодных условий (температура и влажность воздуха, длительность контакта с поверхностью покрытия без дополнительного увлажнения) степень биокоррозии ПВХ мембраны будет различной. При наиболее благоприятных условиях (отсутствие дождя, повышенная влажность воздуха, положительная, но не высокая температура) водорастворимые компоненты помета выполняют роль пластификаторов, размягчая поверхностный слой покрытия, и, вероятно, вступают в химическую реакцию с его составляющими, о чем свидетельствует обесцвечивание его поверхности под слоем помета (рис. 4). С течением

времени, по мере высыхания размягченного участка покрытия, сопровождающегося усадочными деформациями, в центральной его части образуются небольшие сквозные трещины (рис. 3). Именно их герметизация явилась причиной появления на кровле складского комплекса, помимо крупноразмерных дефектов – заплаток, следов ремонтных работ в виде небольших округлых пятен высохшей замазки (рис. 1).

Выводы

Анализ результатов натурных и лабораторных исследований кровельного покрытия складского комплекса показал, что наиболее вероятными причинами, вызвавшими протечки мягкой кровли спустя полтора года после ее укладки, являются: несоблюдение требований технологической дисциплины при монтаже ПВХ мембран в условиях резко отрицательной температуры, а также биологический внешний воздействующий фактор (коррозионное действие помета синантропных птиц).

Список литературы

1. Азимбаева А.А., Сазонова С.А. Выбор оптимального кровельного материала в климатических условиях Пермского края // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. 2016. Т. 7. № 3. С. 11–24. DOI: <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2016.3.02>.
2. Бондаренко И.Н., Созинов С.В., Нейман С.М. Современные кровельные материалы и конструкции кровель, используемые для жилых и промышленных зданий // *Вестник МГСУ*. 2010. № 4–5. С. 31–37.
3. Воронин А.М., Шитов А.А., Пешкова А.В. Срок службы битуминозных и полимерных материалов в кровельном ковре. Ч. II // *Строительные материалы*. 2007. № 3. С. 8–11.
4. Севостьянова И.М., Субботина Е.К., Иванова Е.Р., Амзаракова П.А., Лукина Л.А. Анализ использования мембраны из поливинилхлорида в строительстве // *Московский экономический журнал*. 2019. № 7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ispolzovaniya-membrany-iz-polivinilhlorida-v-stroitelstve> (дата обращения 22.07.2020).
5. Novotný M. Degradation of PVC waterproofing membrane containing plasticizers. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 728. Institute of Physics Publishing. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/728/1/012008>.
6. Woolley T., Kimmins S. *Green Building Handbook*. Taylor&Francis. 2010. doi:10.4324/9780203301715_chapter_6
7. Cash C.G., Bailey D.M. Predictive service life tests for roofing membranes: Phase 2. *Durability of Building Materials & Components 7*. Vol. 2. 2014, pp. 1023–1034. Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9781315025018>

References

1. Azimbaeva A.A., Sazonova S.A. Selection of optimal roofing material in the climatic conditions of Perm region. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2016. Vol. 7. No. 3, pp. 11–24. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2016.3.02>
2. Bondarenko I.N., Sozinov S.V., Neiman S.M. Modern roofing materials and roof constructions that are used for residential and industrial buildings. *Vestnik MGSU*. 2010. No. 4–5, pp. 31–37. (In Russian).
3. Voronin A.M., Shitov A.A., Peshkova A.V. Service life of bituminous and polymer materials in roofing carpet. Part II. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 3, pp. 8–11. (In Russian).
4. Sevost'yanova I.M., Subbotina E.K., Ivanova E.R., Amzarakova P.A., Lukina L.A. Analysis of the use of polyvinyl chloride membranes in construction. *Moskovskij ekonomicheskij zhurnal*. 2019. No. 7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ispolzovaniya-membrany-iz-polivinilhlorida-v-stroitelstve> (Date of access 22.07.2020). (In Russian).
5. Novotný M. Degradation of PVC waterproofing membrane containing plasticizers. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 728. Institute of Physics Publishing. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/728/1/012008>.
6. Woolley T., Kimmins S. *Green Building Handbook*. Taylor&Francis. 2010. doi:10.4324/9780203301715_chapter_6
7. Cash C.G., Bailey D.M. Predictive service life tests for roofing membranes: Phase 2. *Durability of Building Materials & Components 7*. Vol. 2. 2014, pp. 1023–1034. Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9781315025018>
8. Lounis Z., Lacasse M.A., Vanier D.J., Kyle B.R. Towards standardization of service life prediction of

8. Lounis Z., Lacasse M.A., Vanier D.J., Kyle B.R. Towards standardization of service life prediction of roofing membranes. *ASTM Special Technical Publication*. 1999, pp. 3–18. <https://doi.org/10.1520/stp13295s>
9. Игошин Ю.Г. Прогнозирование долговечности кровельных материалов // *Кровли*. 2007. № 4. С. 2–4.
10. Ricks C. Roof leaks: pinpointing and repairing. *Waterproof! Magazine*. 2010. No. 1, pp. 18–25.
11. Бабаян А.Д., Аксенова С.М. Устройство кровли с применением рулонных эластомерных материалов // *Техника и технологии строительства*. 2020. № 1 (21). С. 26–32. URL: https://sibadi.org/upload/PIO/ttc/TTC_5_21.pdf (дата обращения 01.12.2020).
12. Мишин А.Г., Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Денисов А.С., Кудряшов А.Ю. Особенности устройства и технической эксплуатации мембранных кровель в Сибири // *Строительные материалы*. 2018. № 10. С. 53–58. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-53-58>
13. Волошин Е.И. Эффективность применения органических удобрений в агропромышленном комплексе Красноярского края // *Вестник КрасГАУ*. 2016. № 4 (115). С. 138–146.
14. Экологические основы использования птичьего помета. Рекомендации / Под общ. ред. В.М. Красницкого. Омск: ЛИТЕРА, 2014. 44 с.
15. Spennemann D.H.R., Pike M., Watson M.J. Effects of acid pigeon excreta on building conservation. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*. 2017. Vol. 35, No. 2–15, pp. 11–24.
- roofing membranes. *ASTM Special Technical Publication*. 1999, pp. 3–18. <https://doi.org/10.1520/stp13295s>
9. Igoshin Yu.G. Predicting the durability of roofing materials. *Krovli*. 2007. No. 4, pp. 2–4. (In Russian).
10. Ricks C. Roof leaks: pinpointing and repairing. *Waterproof! Magazine*. 2010. No. 1, pp. 18–25.
11. Babaian A.D., Aksenova S.M. Roofing with the use of rolled elastomeric materials. *Techniques and technologies construction*. 2020. No. 1 (21), pp. 26–32. (In Russian). URL: https://sibadi.org/upload/PIO/ttc/TTC_5_21.pdf (Date of access 16.12.2020)
12. Mishin A.G., Pichugin A.P., Khritankov V.F., Denisov A.S., Kudryashov A.Yu. Features of construction and technical operation of membrane roofs in Siberia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 10, pp. 53–58. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-53-58> (In Russian).
13. Voloshin E.I. Sazonova S.A. The efficiency of the organic fertilizers application in agrarian and industrial complex of Krasnoyarsk region. *Vestnik KrasGAU*. 2016. No. 4 (115), pp. 138–146. (In Russian).
14. Ekologicheskie osnovy ispol'zovaniya ptich'ego pomet. Rekomendacii [Ecological basis for the use of poultry litter. Recommendations]. Under the general editorship of V.M. Krasnitsky. Omsk: LITERA. 2014. 44 p.
15. Spennemann D.H.R., Pike M., Watson M.J. Effects of acid pigeon excreta on building conservation. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*. 2017. Vol. 35, No. 2–15, pp. 11–24.

Министерство строительства РС (Я)
Якутский государственный проектный, научно-исследовательский институт строительства
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве
Научно-исследовательский центр «Строительство»
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН

VI Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 85-летию создания строительного комплекса Якутии
«Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережение»

5–6 октября 2021 г.

Организатор: Инженерно-технический институт СВФУ им. М.К. Аммосова

г. Якутск, Россия

НАПРАВЛЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ:

- Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений
- Энергоэффективное строительство
- Эффективные строительные материалы и технологии
- Архитектура и градостроительство
- Совершенствование систем инженерного обеспечения зданий и сооружений
- Экспертиза и управление недвижимостью
- Подготовка кадров для строительной отрасли
- Актуальные вопросы строительной отрасли в экстремальных условиях Арктики и Субарктики

Языки конференции: русский. Форма конференции: заочная. По итогам конференции будет опубликован электронный сборник научных трудов с присвоением ему ISBN, УДК, ББК и размещением в базе данных РИНЦ

Оргкомитет:

- Корнилов Т.А. – директор Инженерно-технического института Северо-Восточного федерального университета, д-р техн. наук, доцент (председатель)
Матвеева О.И. – генеральный директор ОАО «Якутский проектный научно-исследовательский институт строительства», канд. техн. наук, доцент
Местников А.Е. – зав. кафедрой производства строительных материалов, изделий и конструкций СВФУ, д-р техн. наук, профессор
Посельский Ф.Ф. – зав. кафедрой промышленного и гражданского строительства СВФУ, канд. техн. наук, доцент
Иванов В.Н. – зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции СВФУ, канд. техн. наук, доцент
Федорова Г.Д. – доцент кафедры промышленного и гражданского строительства СВФУ, канд. техн. наук, доцент
Архангельская Е.А. – зав. кафедрой экспертизы и кадастра недвижимости СВФУ, канд. техн. наук, доцент
Юмашева Е.И. – главный редактор издательства «Стройматериалы» (научно-технические журналы «Строительные материалы», «Жилищное строительство», «Бетон и железобетон»)

Почтовый адрес: 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58, СВФУ, Инженерно-технический институт

Телефон: 8-984-114-88-30 **E-mail:** orgkomitet-iti@ya.ru

Ответственный секретарь: **Попов Александр Леонидович**

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>



YOUR GLOBAL PARTNER
ON PLANET CLAY



WWW.COSMEC-ITALY.COM

COSMEC SRL
Via T. Edison, 24 – 37136 Verona
tel. +39 045.2322611 – Fax +39 045 2322692
sales@cosmec-italy.com
www.cosmec-italy.com


B

SOLID IDEAS

Bongioanni Macchine интегрирует концепцию «умной фабрики», внедряя технологии ИНДУСТРИИ 4.0 в производственные и энергетические системы своего оборудования



 **BONGIOANNI**
HEAVY CLAY TECHNOLOGY

 www.bongioannimacchine.com 