ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ НА ОСНОВЕ ДОЛЕРИТА И ЛЕГКОПЛАВКОЙ ГЛИНЫ

М.В. Плешко, М.С. Плешко, А.А. Ревякин

*Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС), 344038,
г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2*

Представлен новый состав керамической массы для производства керамической плитки для внутренней облицовки стен на основе легкоплавкой глины. Определены оптимальные составы нефритового ангоба и глянцевого глазури, наиболее подходящие для данного состава. Разработана новая технологическая схема производства керамической плитки для внутренней облицовки на основе долерита и легкоплавкой глины. Разработана кривая обжига, наиболее подходящая для используемых составов шихтовых масс и декоративных покрытий.

Предмет исследования: керамическая масса для производства керамической облицовочной плитки. Керамическая плитка — самый востребованный строительный материал в России. Самой перспективной технологией ее производства с позиций технико-экономической эффективности является технология скоростного однократного обжига, которая крайне редко применяется на заводах нашей страны. В связи с этим разработка и внедрение новых эффективных составов керамических масс и декоративных покрытий, наиболее полно отвечающих особенностям технологии скоростного однократного обжига, на основе новых нетрадиционных сырьевых материалов являются весьма актуальными и перспективными.

Цели: разработка технологических параметров, составов керамических масс и декоративных покрытий керамической плитки для внутренней облицовки стен, обеспечивающих повышение эффективности ее производства по технологии скоростного однократного обжига за счет применения нетрадиционного плагиоклаз-пироксенового сырья: долеритов, суглинков и техногенных сырьевых материалов.

Материалы и методы: проводились технологические, численные и экспериментальные исследования. Для выбора оптимального состава керамической массы использовался метод математического планирования симплекс-центральный план Шеффе. Для выявления научных основ разрабатываемой энергоэффективной технологии производства были применены дифференциально-термические и рентгенофазовые, оптические, электронно-микроскопические и дилатометрические исследования.

Результаты: разработан состав умеренно-красножущейся массы для производства керамической плитки для внутренней облицовки стен по технологии скоростного однократного обжига; разработаны составы ангобного и глазурного покрытий с повышенными физико-механическими и эстетическими свойствами за счет использования новых нетрадиционных видов сырья; предложена энергоэффективная технологическая схема производства керамической облицовочной плитки разработанных составов, позволяющая повысить конкурентоспособность готовой продукции.

Выводы: разработанные составы шихтовых масс и их подготовка могут быть использованы при производстве керамической плитки для внутренней облицовки стен по технологии скоростного однократного обжига на уже существующих предприятиях и вновь строящихся.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: керамическая масса, легкоплавкая глина, долерит, декоративное покрытие, ангоб, муллит, глазурь, декоративное покрытие, межслойные напряжения, кривая обжига, однократный обжиг

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Плешко М.В., Плешко М.С., Ревякин А.А. Технология производства керамической плитки на основе долерита и легкоплавкой глины // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 1 (112). С. 87–94.

TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF CERAMIC TILES BASED ON DOLERITE AND FUSIBLE CLAY

M.V. Pleshko, M.S. Pleshko, A.A. Revyakin

*Rostov State Transport University (RSTU),
2 Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya pl., Rostov-on-Don, 344038, Russian Federation*

The paper presents a completely new composition of the ceramic mass for production of ceramic tiles for interior lining of walls, on the basis of fusible clay. The optimal compositions of jade engobe and glossy glaze, the most suitable for this composition, are determined. A new technological scheme is developed for production of ceramic tiles for interior lining based on dolerite and fusible clay. The curve of firing, which is the most suitable for charge masses and decorative coating compositions being used, has been constructed.

Subject: ceramic mass for the production of ceramic facing tiles. Ceramic tiles are the most popular building material in Russia. The most promising technology for its production from the standpoint of technical and economic efficiency is the technology of rapid single firing, which is rarely used at the plants of our country. In this regard, the development and implementation of new effective compositions of ceramic masses and decorative coatings that are the most compatible with

the specifics of rapid single firing technology, based on new unconventional raw materials, are very relevant and promising. **Research objectives:** development of technological parameters, compositions of ceramic masses and decorative coatings of ceramic tiles for the internal wall lining that provide an increase in tiles production efficiency using the technology of rapid single firing through the use of non-traditional plagioclase-pyroxene raw materials: dolerites, loam and technogenic raw materials.

Materials and methods: technological, numerical and experimental studies were conducted. To select the optimal composition of the ceramic mass, the method of mathematical planning was used, namely the simplex-centroid design of Scheffe. To identify the scientific foundations of the energy-efficient production technology being developed, differential thermal and X-ray phase, optical, electron microscopic and dilatometric studies were applied.

Results: a composition of a moderately red-hot mass was developed for the production of ceramic tiles for the internal lining of walls using the technology of rapid single firing; compositions of engobe and glaze coatings were developed with improved physical, mechanical and aesthetic properties due to the use of new, non-traditional types of raw materials; an energy-efficient technological scheme for the production of ceramic facing tiles of the developed compositions was proposed, which makes it possible to increase the competitiveness of the finished product.

Conclusions: the developed compositions of charge materials and their preparation can be used in the production of ceramic tiles for internal wall lining using the technology of rapid single firing at already existing plants and newly constructed ones.

KEY WORDS: ceramic mass, low-melting clay, dolerite, decorative coating, engobe, mullite, glossy glaze, interlayer stresses, firing curve, single firing

FOR CITATION: Pleshko M.V., Pleshko M.S., Revyakin A.A. Tekhnologiya proizvodstva keramicheskoy plitki na osnove dolerita i legkoplavkoy gliny [Technology of production of ceramic tiles based on dolerite and fusible clay]. Vestnik MGSU [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2018, vol. 13, issue 1 (112), pp. 87–94.

ВВЕДЕНИЕ

Был получен новый состав керамической массы для производства керамической плитки для внутренней облицовки стен. Данный состав включает в себя следующие компоненты, %: долерит — 16; гранит — 8; глина Владимировская ВКС-3 (беложгущаяся) — 55; глина Маркинская (красножгущаяся) — 16; бой плитки дробленый — 5 [1]. Нами были использованы совершенно новые для керамической промышленности сырьевые материалы, содержащие окрашивающие оксиды [2]. В ходе исследования было доказано, что при обжиге в кристаллической решетке муллита происходят изовалентные замещения Al^{3+} на Fe^{3+} , благодаря этому керамический черепок получает намного менее интенсивную окраску, чем заводской аналог [3]. Другой применяемый компонент — долерит — является перспективным сырьевым материалом для керамической промышленности [4]. Это связано с тем, что долерит и его разновидность габбро-долерит представляют собой полевошпатовые материалы, которые имеют высокое содержание щелочных и щелочноземельных оксидов. В связи с этим встает вопрос об интенсификации процессов спекания при низких температурах обжига, что вовлекло бы в процесс спекания долериты.

Известно, что готовая керамическая плитка должна быть покрыта декоративным покрытием [5–8]. В связи с определенными особенностями разработанной керамической плитки необходим новый состав ангобного покрытия. Поэтому на втором этапе исследования мы разработали новый состав нефритового ангоба. При разработке ангобного покрытия мы заменили фритту на сырьевые матери-

алы, которые, как показали исследования, способны обеспечить достаточное количество расплава, при улучшении качественных показателей. В состав ангоба вошли следующие компоненты, %: анортит — 40; глина Владимировская ВКС-2 — 19; каолин КН-83 Глуховецкий — 14; песок кварцевый ВС-050-1 — 11; полевошпат МАН/19 (Турция) — 7; технический глинозем марки Г-0 (УАЗ-СУАЛ) — 1; силикат циркония NATA/4 — 4; криолит искусственный технический — 4 [9].

На следующем этапе мы разработали новый состав прозрачной глянцевої глазури. Нашей целью было разработать состав, который будет являться универсальным, и позволит варьировать содержание компонентов при корректировке производственного процесса. В заводские составы глазурного покрытия входит всего два компонента (фритта и каолин) [9], в связи с этим глазурь имеет высокую стоимость и предполагает использование только одного вида фритты [10–11]. Нами же был разработан многокомпонентный состав, элементами которого являются отход производства микростеклошариков, цинковые белила и волластонит. В связи с этим снижается содержание фритты с 95 до 60 % по массе. Данный состав содержит следующие компоненты, %: каолин КН-83 Глуховецкий — 10,0; фритта FT-847 — 65,0; полевошпат МАН/19 — 10,0; волластонит ASTO-2A — 5,0; цинковые белила ZnO — 6,0; отход производства микростеклошариков — 4,0 [8].

В состав разработанной керамической плитки входят нетрадиционные компоненты [12], в связи с чем и появилась необходимость в разработке новой технологической схемы производства, наиболее подходящей под данный состав [13–14]. При этом технология производства должна базироваться на

типовом оборудовании, а организация производственного процесса должна быть аналогична исходной технологии однократного обжига [15].

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Технологический процесс производства керамической облицовочной плитки в настоящее время развивается и совершенствуется на всех стадиях производственного процесса. Однако самым актуальным является научно-обоснованная оптимизация обжига. Рациональная организация обжига позволяет не только получить более качественные показатели готовой продукции, но и предопределяет энергоэффективность всего производства [6].

В большинстве случаев на заводах России для производства керамической облицовочной плитки применяется технология двукратного обжига. Тогда как в сфере производства изделий строительной керамики в государствах-лидерах (Испания, Италия, Чехия и др.) все большее распространение приобретает наиболее перспективная технология однократного обжига [16]. Проведя анализ практического опыта применения данной технологии в нашей стране, можно выделить ряд существующих проблем: применение карбонатов щелочно-земельных металлов; дорогостоящие импортные компоненты; обжиг при высоких температурах (1050...1100 °С и более); отсутствие эффективных декоративных покрытий и др.

В настоящее время процессы, протекающие при длительном обжиге, очень хорошо изучены [9], однако при проведении данных исследований основной акцент делается на применении тугоплавких беложгущихся глин, в основном, украинских месторождений, при этом применяемые режимы обжига экономически нецелесообразны.

В связи с чем исследования, направленные на разработку и внедрение новых эффективных составов керамических масс и декоративных покрытий,

наиболее полно отвечающих особенностям технологии скоростного однократного обжига, на основе новых нетрадиционных сырьевых материалов, являются весьма актуальными

В исследованиях А.А. Галенко [16–18] представлены совершенно новые составы для производства керамической облицовочной плитки, а также разработана кривая обжига (рис. 1), основными особенностями которой являются одновременный интенсивный нагрев верхней и нижней поверхности на начальном этапе (зона А). Однако при однократном обжиге такой нагрев нецелесообразен, так как в микроструктуре могут возникнуть дефекты, поскольку наиболее увлажненной частью плитки является верхняя, декорированная поверхность. В то же время в зонах С, D и E наблюдается разница в интенсивности нагрева верхней и нижней поверхности, что недостаточно для завершения процессов фазо- и структурообразования в декоративных покрытиях. В следующих зонах (E и F) интенсивное охлаждение верхней поверхности плитки может привести к раннему стеклованию глазури, что в свою очередь может привести к чрезмерному сжатию глазури при остывании керамической плитки и образованию межслойных напряжений в системе «черепок—ангоб—глазурь» [19–20].

Поэтому возникает необходимость в разработке совершенно новой технологии производства керамической облицовочной плитки на основе легкоплавкой красножгущейся глины и долерита.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Были проведены комплексные физико-химические исследования.

Сначала с помощью прибора синхронного термического анализа STA 449 C Jupiter (фирмы Netzsch) был установлен механизм протекания основных физико-химических явлений при обжиге, осуществлены дифференциально-термические ис-

Рис. 1. Предлагаемая кривая однократного обжига с температурными кривыми:

— — плитки; — — нижней зоны; — — верхней зоны

следования (ДТА). Для этого предварительно подготовленный пресс-порошок помещали в прибор, который настраивался на максимальное соответствие режиму обжига в производственной печи: температура обжига 1100 °С, длительность проведения эксперимента 42 мин.

Далее для подтверждения полученных выводов осуществляли рентгенофазовые исследования автоматическим рентгеновским дифрактометром общего назначения ДРОН-7 производства НПП «Буревестник».

На следующем этапе была определена микроструктура керамического черепка на растровом электронном микроскопе VEGA II LMU (фирмы Tescan), благодаря чему были установлены взаимодействия между черепком, ангобом и глазурью.

При определении взаимодействия черепка, ангоба и глазури прежде всего определяется их совместимость, характеризующаяся разницей в температурном коэффициенте линейного расширения, при котором величина отдельных слоев не должна отличаться более чем на 15 %. Для этого были определены расчетные значения коэффициента, а затем для выявления оптимальных составов выполнялась практическая проверка с помощью прибора MISURA FLEX-ODLT, представляющего собой дилатометр, совмещенный с оптическим флексиметром.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведя исследования и опытно-промышленную апробацию полученных результатов, мы разработали совершенно новую кривую обжига, максимально отвечающую требованиям и особенностям однократного обжига и наиболее подходящую для разработанных шихтовых масс (рис. 2).

Разработанная кривая обжига предполагает наиболее интенсивный нагрев керамического черепка на начальном этапе, в зоне А1. Это позволит стабилизировать влажностный дисбаланс между

черепком и декоративными покрытиями. В зоне А2 будет наблюдаться небольшая изотермическая выдержка в интервале температур 640...700 °С, в результате произойдет выравнивание температуры по всей толщине изделия, что обеспечит оптимальные условия для образования сложных легкоплавких соединений в системах $\text{FeO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ и $\text{K}_2\text{O} - \text{MgO} - \text{SiO}_2$. Кроме этого, в зоне А2 начинается более интенсивный нагрев нижней поверхности плитки, благодаря чему создается температурный градиент необходимый для завершения процесса дегазации.

В зоне Б разработанной кривой обжига протекают основные процессы фазо- и структурообразования в керамическом черепке. В связи с этим здесь сохраняется более интенсивный нагрев, который обусловлен горелками, расположенными под обжиговым каналом. При температуре 987 °С с целью обеспечения оптимальных условий мулитообразования, а также изовалентных замещений Al^{3+} на Fe^{3+} в кристаллических решетках маггемита ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) и муллита, была сделана изотермическая выдержка на основании дериватографических исследований разработанной керамической массы [20].

В обжиговой зоне С вновь осуществляется смена интенсивности нагревательных элементов. Это необходимо для обеспечения формирования качественных декоративных покрытий, так как сильнее нагревается верхняя поверхность плитки. Кроме того, по сравнению с образцовой кривой нами была увеличена длительность изотермической выдержки, так как разработанные составы ангоба и глазури содержат меньшее количество легкоплавких фритт.

В зоне охлаждения по сравнению с эталоном, учитывая температуру соединения декоративных покрытий с черепком, полученную методом оптической флексиметрии, снижена интенсивность охлаждения черепка в температурном интервале 750...700 °С. Это необходимо для дополнительного снижения эффекта термопластического сжатия

Рис. 2. Предлагаемая кривая однократного обжига с температурными кривыми:

— плитки; — нижней зоны; — верхней зоны

и компенсации междуслойных напряжений в системе «черепок–ангоб–глазурь».

Разработанная нами технологическая схема производства керамической плитки для внутренней облицовки на основе долерита и легкоплавкой глины представлена на рис. 3.

ВЫВОДЫ

В ходе проведения комплексных физико-химических исследований было доказано, что при совместном использовании Маркинской глины и доле-

рита возможно формирование плотной однородной микроструктуры керамического черепка, а при соблюдении оптимальной температуры обжига керамической плитки разработанного состава можно получить наилучшее сочетание физико-механических свойств керамического черепка, ангоба и глазури; в связи с чем применение данных компонентов позволит не только расширить сырьевую базу, снизить себестоимость, но и одновременно повысить качество выпускаемой продукции.

Дальнейшая разработка данной темы является очень перспективной в области производства кера-

Рис. 3. Технологическая схема производства для разработанной керамической плитки

мической плитки для внутренней облицовки стен. Поскольку изучение различных видов долеритового и легкоплавкого глинистого сырья, апробирование их в более широких технологических параметрах с изучением напряжений и деформаций разработан-

ных композитов в зависимости от технологических факторов, интенсивности и длительности агрессивных воздействий позволит не только снизить себестоимость готовой продукции, но и повысить энергоэффективность всего производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Pleshko M.V., Pleshko M.S.* One-time firing ceramic pastes based on gabbro-dolerite and moderately red-burning clay // *Glass and Ceramics*. 2015. № 1. Pp. 21–24.
2. Макаров Д.В., Мелконян Р.Г., Суворова О.В., Кумарова В.А. Перспективы использования промышленных отходов для получения керамических строительных материалов // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2016. № 5. С. 254–281.
3. Позняк А.И. Керамические плитки сниженной материалоемкости для внутренней облицовки стен, полученные по технологии однократного обжига // *Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической и нефтехимической промышленности. V Международная конференция Российского химического общества им. Д.И. Менделеева : тез. докл. М. : РХО имени Д. И. Менделеева, 2013. С. 216–218.*
4. *Kara-Sal B.K., Seren S.V., Mongush D.S.* Production of densely sintered ceramic articles using feldspar-zeolite raw material from Tuva // *Glass and Ceramics*. 2016. No. 10. Pp. 331–334.
5. Гурьева В.А., Прокофьева В.В. Строительная керамика на основе композиции техногенного серпентинитового сырья и низкосортных глин и добавок // *Строительные материалы*. 2012. № 8. С. 20–21.
6. Жуков А.Д., Горбунов Г.И., Белаи Н.А. Энергосберегающая технология керамической плитки // *Вестник МГСУ* 2013. № 10. С. 122–130.
7. Крючков Ю.Н. Особенности спекания керамических материалов // *Стекло и керамика*. 2013. № 11. С. 29–34.
8. Павлов В.Ф. Легкоплавкие глины в керамических массах // *Промышленность строительных материалов. Сер. 5. Керамическая промышленность. Обзорная информация*. 1983. 45 с.
9. Плешко М.В. Разработка новых составов ангобного и глазурного покрытия для керамической облицовочной плитки // *Инженерный Вестник Дона*. 2015. № 1. С. 1–10.
10. *Poznyak A.I., Levitskii I.A., Barantseva S.E.* Production of interior facing tiles using local raw materials // *Glass and Ceramics*. 2012. No. 3. Pp. 3–7.
11. Семериков И.С., Михайлова Н.А., Баикатов Н.Н. Технология строительных керамических материалов. Екатеринбург : УГТУ – УПИ. 2008. 256 с.
12. *Kockal N.U.* Utilisation of different types of coal fly ash in the production of ceramic tiles // *Boletin de la Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio*. 2012. Vol. 51. Issue 5. Pp. 297–304.
13. Бубнова Т.П., Гаранжа А.В. Особенности технологической минералогии анортозитов – сырья многоцелевого назначения // *Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов : сб. науч. ст. по мат. III Российского семинара по технологической минералогии*. Петрозаводск : Изд. КарНЦ РАН, 2009. С. 94–97.
14. *Gabaldón-Estevan D. Hekkert M.P.* How does the innovation system in the Spanish ceramic tile sector function // *Boletin de la Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio*. 2013. Vol. 52. Issue 3. Pp. 151–158.
15. Вакалова Т.В., Погребенков В.М. Рациональное использование природного и техногенного сырья в керамических технологиях // *Строительные материалы*. 2007. № 4. С. 58–61.
16. Галенко А.А., Плешко М.В. Керамическая плитка для внутренней облицовки стен с использованием техногенного сырья // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 60–65.
17. Галенко А.А., Верченко А.В. Совершенствование технологии производства керамических строительных материалов однократного обжига // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. 2011. № 4. С. 88–91.
18. Галенко А.А. Разработка и исследование оптимального состава керамических масс однократного обжига // *Перспективы развития Восточного Донбасса. Ч. 2 : сб. науч. тр. Шахтинский институт (филиал) ЮРГТУ (НПИ). Новочеркасск : УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2008. С. 257–262.*
19. Галенко А.А., Зубехин А.П., Попова Л.Д. Интенсификация процесса спекания керамической плитки однократного обжига путем снижения тугоплавкости массы // *Результаты исследований : мат. 58-й науч.-техн. конф. ЮРГТУ (НПИ). Новочеркасск, 2009. С. 235–237.*
20. Галенко А.А. Зависимость формирования фазового состава и структуры керамического черепка от состава масс // *Строительные материалы*. 2010. № 8. С. 44–46.

Поступила в редакцию 14 ноября 2016 г.

Принята в доработанном виде 26 октября 2017 г.

Одобрена для публикации 22 декабря 2017 г.

О Б А В Т О Р А Х: **Плешко Марианна Викторовна** — кандидат технических наук, доцент кафедры изысканий, проектирования и строительства железных дорог, **Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС)**, 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2, pleshkomv@yandex.ru; ORCID 0000-0002-5879-6406, ResearcherID N-3787-2016;

Плешко Михаил Степанович — доктор технических наук, профессор кафедры изысканий, проектирования и строительства железных дорог, **Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС)**, 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2, mixail-stepan@mail.ru; ORCID 0000-0002-5879-6406, ResearcherID N-3787-2016;

Ревякин Алексей Анатольевич — кандидат технических наук, заведующий кафедры изысканий, проектирования и строительства железных дорог, **Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС)**, 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2, alexei.reviakin2018@yandex.ru; orcid.org/0000-0002-4517-5109, ResearcherID:P-8748-2017.

REFERENCES

1. Pleshko M.V., Pleshko M.S. One-time firing ceramic pastes based on gabbro-dolerite and moderately red-burning clay. *Glass and Ceramics*. 2015, no. 1, pp. 21–24.
2. Makarov D.V., Melkonyan R.G., Suvorova O.V., Kumarova V.A. Perspektivy ispol'zovaniya promyshlennykh otkhodov dlya polucheniya keramicheskikh stroitel'nykh materialov [Prospects for the use of industrial wastes for the production of ceramic building materials]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining information-analytical bulletin]. 2016, no. 5, pp. 254–281. (In Russian)
3. Poznyak A.I. Keramicheskie plitki snizhennoy materialoemkosti dlya vnutrenney oblitovki sten, poluchennye po tekhnologii odnokratnogo obzhiga [Ceramic tiles of reduced material consumption for internal lining of walls, obtained by single firing technology]. *Resurso- i energosberegayushchie tekhnologii v khimicheskoy i neftekhimicheskoy promyshlennosti. V Mezhdunarodnaya konferentsiya Rossiyskogo khimicheskogo obshchestva im. D.I. Mendeleeva : tez. dokl.* [Resource and energy saving technologies in the chemical and petrochemical industry. V International Conference of the D.I. Mendeleev Russian Chemical Society: abstracts of papers]. Moscow, Rossiyskoe khimicheskoe obshchestvo im. D.I. Mendeleeva, 2013, pp. 216–218. (In Russian)
4. Kara-Sal B.K., Seren S.V., Mongush D.S. Production of densely sintered ceramic articles using feldspar-zeolite raw material from Tuva. *Glass and Ceramics*. 2016, no. 10, pp. 331–334.
5. Gur'eva V.A., Prokof'eva V.V. Stroitel'naya keramika na osnove kompozitsii tekhnogennogo serpentinitovogo syr'ya i nizkosortnykh glin i dobavok [Construction ceramics on the basis of a composition of man-made serpentinitic raw materials and low-grade clays and additives]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2012, no. 8, pp. 20–21. (In Russian)
6. Zhukov A.D., Gorbunov G.I., Belash N.A. Energosberegayushchaya tekhnologiya keramicheskoy plitki [Energy saving technology of ceramic tiles]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering] 2013, no. 10, pp. 122–130. (In Russian)
7. Kryuchkov Yu.N. Osobennosti spekaniya keramicheskikh materialov [Features of sintering of ceramic materials]. *Steklo i keramika* [Glass and Ceramics]. 2013, no. 11, pp. 29–34. (In Russian)
8. Pavlov V.F. Legkoplavkie gliny v keramicheskikh massakh [Light-melting clays in ceramic masses]. *Promyshlennost' stroitel'nykh materialov Ser. 5. Keramicheskaya promyshlennost'. Obzornaya informatsiya* [Industry of Construction Materials. Ser. 5. Ceramic Industry. Review Information]. 1983. 45 p. (In Russian)
9. Pleshko M.V. Razrabotka novykh sostavov angobnogo i glazurnogo pokrytiya dlya keramicheskoy oblitovochnoy plitki [The development of new formulations of engobe and glazed coatings for ceramic tiles]. *Inzhenernyy Vestnik Dona* [Engineering Journal of Don]. 2015, no. 1, pp. 1–10. (In Russian)
10. Poznyak A.I., Levitskii I.A., Barantseva S.E. Production of interior facing tiles using local raw materials. *Glass and Ceramics*. 2012, no. 3, pp. 3–7. (In Russian)
11. Semerikov I.S., Mikhaylova N.A., Bashkatov N.N. Tekhnologiya stroitel'nykh keramicheskikh materialov [Technology of construction ceramic materials]. Ekaterinburg, UGTU – UPI. 2008. 256 p. (In Russian)
12. Kockal N.U. Utilisation of different types of coal fly ash in the production of ceramic tiles. *Boletín*

de la Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio. 2012, vol. 51, issue 5, pp. 297–304. (In Russian)

13. Bubnova T.P., Garanzha A.V. Osobennosti tekhnologicheskoy mineralogii anortozitov — syr'ya mnogotselevogo naznacheniya [Features of technological mineralogy of anorthosites — raw materials of multi-purpose use]. *Novye metody tekhnologicheskoy mineralogii pri otsenke rud metallov i promyshlennykh mineralov: sb. nauch. st. po mater. III Rossiyskogo seminar po tekhnologicheskoy mineralogii* [New methods of technological mineralogy in the evaluation of ores of metals and industrial minerals: a collection of scientific articles: By mater. III Russian seminar on technological mineralogy.]. Petrozavodsk, Karelia Scientific Centre, Russian Academy of Science Publ., 2009, pp. 94–97. (In Russian)

14. Gabaldón-Estevan D., Hekkert M.P. How does the innovation system in the Spanish ceramic tile sector function. *Boletín de la Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio*. 2013, vol. 52, issue 3, pp. 151–158.

15. Vakalova T.V., Pogrebenkov V.M. Ratsional'noe ispol'zovanie prirodnogo i tekhnogenogo syr'ya v keramicheskikh tekhnologiyakh [Rational use of natural and technogenic raw materials in ceramic technologies]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2007, no. 4, pp. 58–61. (In Russian)

16. Galenko A.A., Pleshko M.V. Keramicheskaya plitka dlya vnutrenney oblitsovki sten s ispol'zovaniem tekhnogenogo syr'ya [Ceramic tiles for interior wall lining using technogenic raw materials]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2014, no. 4, pp. 60–65. (In Russian)

17. Galenko A.A., Verchenko A.V. Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva keramicheskikh

stroitel'nykh materialov odnokratnogo obzhiga [Perfection of the “know-how” of ceramic building materials of unitary roasting]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki* [University news. North-Caucasian region. Technical sciences series]. 2011, no. 4, pp. 88–91. (In Russian)

18. Galenko A.A. Razrabotka i issledovanie optimal'nogo sostava keramicheskikh mass odnokratnogo obzhiga [Development and study of the optimal composition of single-firing ceramic masses]. *Perspektivy razvitiya Vostochnogo Donbassa. Ch. 2 : sb. nauch. tr. Shakhtinskiy institut (filial) YuRGU (NPI)* [Prospects for the development of the Eastern Donbass. Part 2: Shakhtinsky Institute (branch) of the SRSTU (NPI)]. Novocherkassk, UPTs «Nabla» YuRGU (NPI), 2008, pp. 257–262. (In Russian)

19. Galenko A.A., Zubekhin A.P., Popova L.D. Intensifikatsiya protsessy spekaniya keramicheskoy plitki odnokratnogo obzhiga putem snizheniya tugoplavkosti massy [Intensification of the process of sintering of ceramic tiles of single firing by reducing the refractoriness of the mass]. *Rezul'taty issledovaniy: mat. 58-y nauch.-tekhn. konf. YuRGU (NPI)* [Research results: 58th scientific and technical Conference of the South-Russian State Technical University (NPI)]. Novocherkassk, 2009, pp. 235–237. (In Russian)

20. Galenko A.A. Zavisimost' formirovaniya fazovogo sostava i struktury keramicheskogo cherepka ot sostava mass [Dependence of the formation of the phase composition and the structure of the ceramic shard from the composition of the masses]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2010, no. 8, pp. 44–46. (In Russian)

Received November 14, 2016.

Adopted in final form on October 26, 2017.

Approved for publication on December 22, 2017.

ABOUT THE AUTHORS: **Pleshko Marianna Viktorovna** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Research, Design and Construction of Railways Department, **Rostov State Transport University (RSTU)**, 2 Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya pl., 344038, Rostov-on-Don, Russian Federation; pleshkomv@yandex.ru; ORCID 0000-0002-5879-6406, ResearcherID N-3787-2016;

Pleshko Mikhail Stepanovich — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Research, Design and Construction of Railways Department, **Rostov State Transport University (RSTU)**, 2 Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya pl., 344038, Rostov-on-Don, Russian Federation; mixail-stepan@mail.ru; ORCID 0000-0002-5879-6406, ResearcherID N-3787-2016;

Revyakin Aleksey Anatol'evich — Candidate of Technical Sciences, Head of the Research, Design and Construction of Railways Department, **Rostov State Transport University (RSTU)**, 2 Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya pl., 344038, Rostov-on-Don, pl. Rostov Shooting Regiment of the People's Militia, 2, Russian Federation; alexei.reviakin2018@yandex.ru; orcid.org/0000-0002-4517-5109, ResearcherID: P-8748-2017.