

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ МИНЕРАЛЬНОГО ВОЛОКНА В ПРОИЗВОДСТВЕ ГИПСОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

В.Б. Петропавловская, Т.Б. Новиченкова, А.Ф. Бурьянов¹,
В.Н. Соловьев¹, К.С. Петропавловский

Тверской государственной технической университет (ТвГТУ), 170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, д. 22;

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Предмет исследования: эффективность использования композиций с применением базальтовых волокон доказана, но необходим подбор композиции в зависимости от выбранного вяжущего и добавок.

Цели: исследована возможность утилизации отхода производства базальтового волокна при получении модифицированного гипсового композита с улучшенными свойствами.

Материалы и методы: в качестве исходного материала применялось гипсовое вяжущее Самарского производства. В качестве армирующей добавки использовался отход волокон базальтового производства Тверской области. Исследования характеристик гипсового вяжущего и модифицированной смеси, а также сравнительный анализ показателей по средней плотности, общей пористости, пределам прочности при сжатии и изгибе гипсового композита проводились с использованием стандартных методик.

Результаты: установлена зависимость физико-механических свойств модифицированного гипсового материала от содержания базальтовой добавки. Увеличение концентрации добавки требует повышенного водосодержания или дополнительного использования пластификатора.

Выводы: модификация гипсового камня минеральной базальтовой добавкой позволит повысить прочность, плотность и долговечность тонкостенных гипсовых изделий, а следовательно, востребованность изделий за счет обеспечения их высокого качества при транспортировании и монтаже.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гипсовые композиты, армирование, базальтовое волокно, повышение эксплуатационных характеристик, отход, утилизация, модифицирующая добавка

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Бурьянов А.Ф., Соловьев В.Н., Петропавловский К.С. Утилизация отходов минерального волокна в производстве гипсовых изделий // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 12 (111). С. 1392–1398.

UTILIZATION OF MINERAL FIBER WASTE IN THE PRODUCTION OF GYPSUM PRODUCTS

V.B. Petropavlovskaya, T.B. Novichenkova, A.F. Bur'yanov¹, V.N. Solov'ev¹, K.S. Petropavlovskii

Tver State Technical University (TvSTU), 22 Af. Nikitina naberezhnaya, Tver, 170026, Russian Federation;

¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation

Subject: the effectiveness of using compositions with the use of basalt fibers is proven, but the composition must be selected depending on the binder and additives chosen.

Research objectives: we examine the possibility of waste recycling of basalt fiber production during manufacturing of modified gypsum composite material with improved characteristics.

Materials and methods: as a raw material, a gypsum binder of Samara production was used. As a reinforcement additive, a disperse waste of basalt fiber production of Tver region was used. Studying characteristics of the gypsum binder and modified mixture, and also comparative analysis of these characteristics by average density, total porosity, strength in compression and flexure of the gypsum composite were carried out using standard techniques.

Results: dependence of physical and mechanical properties of the modified gypsum material on the content of the basalt fiber additive is established. It was found that an increase in concentration of the additive requires an increased water content or additional use of plasticizer.

Conclusions: modification of gypsum stone with a mineral basalt additive will increase the strength, density and durability of thin-walled gypsum products, and, consequently, the demand for products due to ensuring their high quality in transportation and installation.

KEY WORDS: gypsum composites, reinforcement, basalt fiber, improved performance, waste, recycling, modifying additive

FOR CITATION: Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Bur'yanov A.F., Solov'ev V.N., Petropavlovskii K.S. Utilizatsiya otkhodov mineral'nogo volokna v proizvodstve gipsovykh izdeliy [Utilization of mineral fiber waste in the production of gypsum products]. Vestnik MGSU [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 12 (111), pp. 1392–1398.

ВВЕДЕНИЕ

Решение проблем энерго- и ресурсосбережения в нашей стране связано с применением новых материалов и способов их производства. Традиционные подходы к производству строительных материалов не отвечают современным требованиям по энергоэффективности и нуждаются сегодня в использовании инновационных способов организации производств.

Мировые тенденции направлены на всемерную экономию энергии, удельная энергоемкость внутреннего валового продукта в развитых промышленных странах по сравнению с Россией имеет более чем в четыре раза низкие показатели. Для строительной индустрии эта проблема еще более актуальна из-за высокой ресурс- и энергоемкости существующих производств. Они требуют на сегодняшний день вовлечения огромных ресурсов: минерального сырья, топлива, биомассы, кислорода и энергии. Необходима переориентация строительной индустрии на использование малоэнергоёмких, ресурсосберегающих технологий и местных сырьевых источников, в том числе техногенного сырья.

Проектирование таких способов получения гипсовых изделий на основе новейших научных разработок позволит повысить конкурентоспособность на рынке и самих производств, и выпускаемой строительной продукции.

По утверждению западных специалистов и опыту некоторых российских предприятий использование гипса и материалов на его основе приносит успех предприятию в первую очередь за счет повышения производительности труда, качества и снижения стоимости строительства, так как капиталовложения и металлоёмкость оборудования при его использовании сокращаются в два-три раза, а расходы энергоресурсов на производство — в четыре и более раз.

Поэтому производство гипса в развитых странах достигает 20...27 % от общего объема производства минеральных вяжущих веществ, а в нашей стране — только 5 % от общего объема применяющихся минеральных вяжущих веществ, и это преимущественно строительный гипс. В то время как многие новейшие технологии ориентированы на широкую линейку гипсовых вяжущих, в том числе — композиционных на основе высокопрочного гипса. Таким образом, сложившееся положение требует проведения исследований в области разработки новейших видов композиционных гипсовых вяжущих, отвечающих запросам растущего числа потребителей.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Использование местных отходов дает большую сырьевую базу для создания эффективных гипсовых материалов с низкой себестоимостью и с высокими эксплуатационными свойствами [1].

Использование ресурсосберегающей технологии повышает эффективность гипсовых изделий, получаемых на основе отходов. В настоящее время для получения гипсовых материалов и изделий с улучшенными свойствами широко используются минеральные добавки и наполнители [2–11]. Среди них вызывает интерес использование микро- и нановолокон для армирования цементного и гипсового камня [2, 8–10], причем отмечается влияние армирующего компонента не только на физико-механические [5, 6, 11–14], но и на эксплуатационные свойства изделий [8, 10, 15–18]. Известно эффективное использование в качестве наполнителей гипсовых и цементных композиций минеральных волокон [2, 3, 4, 11, 13]. Установлено, что прочность гипсового материала повышается за счет введения в состав сырьевой смеси таких волокнистых материалов, как стекловолокно, базальтовые и полимерные волокна [4, 10, 12, 19] в сочетании с различными добавками [7, 9]. Эффективность использования композиций с применением базальтовых волокон отмечается в работах отечественных и зарубежных специалистов [2–4, 11, 20], при этом отмечается необходимость подбора композиции в зависимости от выбранного вяжущего и добавок [10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе исследована возможность утилизации отхода производства базальтового волокна при получении модифицированного гипсового композита с улучшенными физическими и механическими параметрами.

В качестве исходного материала применялось гипсовое вяжущее производства Самарского гипсового комбината. Строительный гипс β -модификации Самарского гипсового комбината характеризовался водопотребностью 60 %, началом схватывания — не ранее 6 мин, концом схватывания — не позднее 30 мин. Зерновой состав по ГОСТ 125-79¹ характеризовался остатком на сите 0,2 мм не более 14 %.

¹ ГОСТ 125-79 Вяжущие гипсовые. Технические условия.

В качестве армирующей добавки использовался дисперсный отход производства базальтового волокна Тверской области. Химический (оксидный) состав микронаполнителя — отхода волокон базальтового производства предприятия «Рагос»:

Оксид	Массовая доля, %
CO ₂	1,45
Na ₂ O	1,58
MgO	9,06
Al ₂ O ₃	12,14
SiO ₂	52,67
SO ₃	0,65
K ₂ O	0,57
CaO	13,92
TiO ₂	1,10
Fe ₂ O ₃	6,87
CO ₂	1,45

Анализ химического состава отхода базальтового волокна, а также фазового состава с использованием бесстандартного анализа по методу Ритвелда контрольных образцов гипсового камня и модифицированного композита проводился в лабораториях Московского государственного строительного университета. Исследования физико-механических характеристик (влажности, средней плотности, общей пористости, а также пределов прочности при сжатии и при изгибе) гипсового вяжущего и композитов на его основе проводились в лабораториях Московского государственного строительного университета и Тверского государственного технического

университета с использованием образцов-балочек стандартного размера 40 × 40 × 160 мм, изготовленных из теста нормальной густоты и испытанных в стандартные сроки (через 2 ч), в соответствии с требованиями ГОСТ 23789–79².

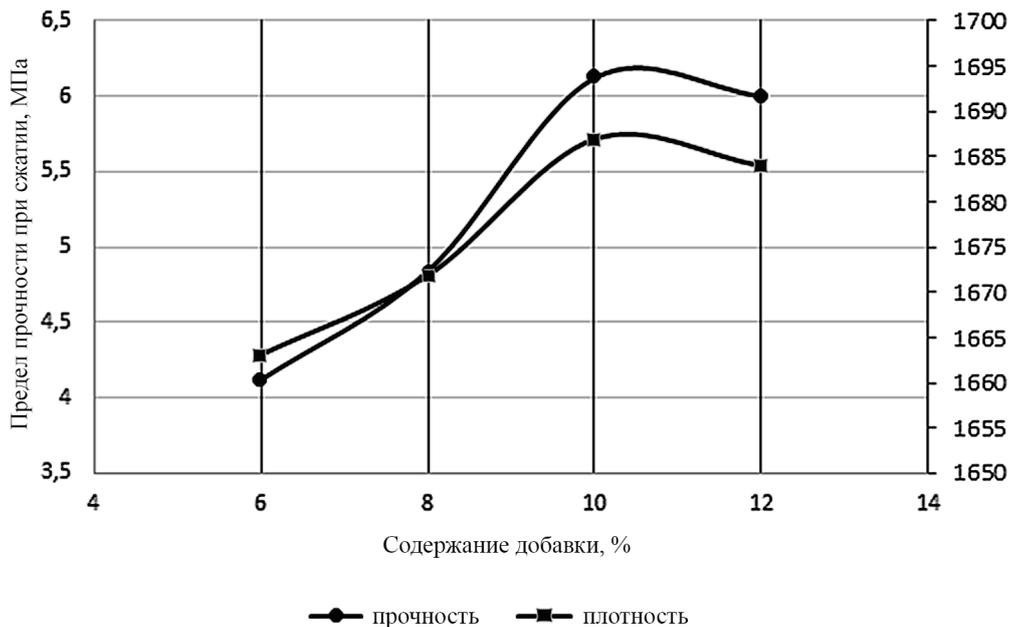
Содержание армирующей добавки в составе сырьевой смеси варьировалось в пределах 6...12 % от массы гипсового вяжущего.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе исследовались зависимости прочности на сжатие и изгиб, а также средней плотности гипсового композита от содержания армирующей добавки — отхода базальтовых волокон. По результатам исследований установлено, что введение базальтовой добавки в диапазоне до 10 % (рис.) приводит к росту основных показателей — прочности и плотности. Так, при введении добавки в количестве до 10 % предел прочности при сжатии гипсового композита повышается в среднем на 50 %. Дальнейшее увеличение содержания отходов волокна в гипсовом композите приводит к незначительному снижению основных физико-механических показателей, что в первую очередь объясняется плохой удобоукладываемостью (обрабатываемостью) смеси вяжущего с повышенным содержанием волокна — свыше 10 %.

Наибольшее значение прочности при сжатии гипсового камня достигается при содержании добавки базальтового отхода в количестве 10 % от

² ГОСТ 23789-79 (СТ СЭВ 826-77 в части методов испытаний) Вяжущие гипсовые. Методы испытаний



Влияние армирующей добавки на свойства гипсовых образцов в возрасте 2 ч

массы гипсового вяжущего и составляет 6,12 МПа (см. рис.), средняя плотность камня также при этом увеличивается незначительно — достигает значения 1687 кг/м³. Пористость материала снижается с 40 до 34 % с увеличением содержания отхода базальтовых волокон в пределах 0...10 %, что положительно сказывается и на эксплуатационных характеристиках гипсового камня.

Исследованиями предела прочности при изгибе модифицированного гипсового камня установлено, что прочность в возрасте 2 ч увеличилась в два раза по сравнению с прочностью бездобавочных составов и составила 12,75 МПа.

Анализ полученных результатов исследования модифицированного камня показывает, что оптимальное содержание добавки отхода базальтовых волокон по показателям прочности гипсового композита и удобоукладываемости сырьевой смеси составило 10 %. Дисперсное армирование приводит к повышению прочности материала, что объясняется достаточно высокой химической однородностью добавки с вяжущим и участием базальтового компонента сырьевой смеси в физико-химических превращениях при твердении модифицированного гипсового камня, что подтверждается данными анализа фазового состава образцов. Дополнительно

но введение дисперсного компонента способствует кольматации пор в гипсовом камне, что подтверждается результатами исследований структурных характеристик материала. Также установлено, что увеличение концентрации добавки в составе сырьевой смеси требует повышения водосодержания сырьевой смеси или использования пластификатора.

ВЫВОДЫ

Таким образом, проведенные исследования подтверждают положительное влияние дисперсной добавки отходов базальтового волокна на эксплуатационные характеристики гипсового материала. Модификация гипсового камня минеральной базальтовой добавкой в количестве 10 % позволяет повысить более чем в два раза прочность при изгибе, а также плотность и долговечность тонкостенных гипсовых изделий, а следовательно, востребованность изделий за счет обеспечения их высокого качества, в том числе при транспортировании и монтаже. Подбор компонентов сырьевых смесей гипсовых композитов, способствующий снижению водопотребности без ухудшения эксплуатационных свойств гипсового камня, будет являться темой дальнейших исследований авторов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ферронская А.В. Перспективы производства и применения гипсовых материалов в XXI веке // Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий : мат. II Всерос. семинара с междунар. участием. М. : ЛМ-ПРИНТ, 2004. С. 11.
2. Хежнев Х.А. Гипсобетонные композиты, армированные базальтовыми волокнами // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 2. С. 152–156.
3. Кузьмина В.П. Способ введения базальтового волокна в композитные материалы // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2011. № 2. С. 59–64. Режим доступа: http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nano-build_2_2009_RUS.pdf.
4. Оснос М.С., Оснос С.П. Базальтовые непрерывные волокна: основные преимущества, характеристики, области применения // Композитный мир. 2009. № 5 (26). С. 36–39.
5. Гордина А.Ф., Игнатьева А.Д., Полянских И.С. и др. Гипсовые композиции с механоактивированным микрокремнеземом // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании : сб. мат. Междунар. науч. конф.. М. : МГСУ, 2017. С. 592–595.
6. Строчкова В.В., Череватова А.В., Жерновский И.В., Войтович Е.В. Особенности фазообразования в композиционном наноструктурированном гипсовом вяжущем // Строительные материалы. 2012. № 7. С. 9–12.
7. Гаркави М.С., Панферова А.Ю., Некрасова С.А., Михайлова К.А. Формирование структуры наномодифицированного гипсополимерного материала // Сухие строительные смеси. 2013. № 2. С. 38–40.
8. Nelyubova V.V., Strokova V.V., Sumin A.V., Jernovskiy I.V. The structure formation of the cellular concrete with nanostructured modifier // Key Engineering Materials. 2017. Vol. 729: Structural and Smart Materials. pp. 99–103.
9. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Бурьянов А.Ф. и др. Самоармированные гипсовые композиты // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 19–21.
10. Kozhukhova N.I., Chizhov R.V., Zhernovskiy I.V., Strokova V.V. Structure formation of geopolymer perlite binder vs. type of Alkali activating agent // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Vol. 9 (1). Pp. 28220–28228.
11. Потапова Е.Н., Манушина А.С., Урбанов А.В. Влияние волокон на свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Успехи в химии и химической технологии. 2016. № 7. С. 66–67.
12. Маева И.С., Яковлев Г.И., Первушин Г.Н. и др. Структурирование ангидритовой матрицы на-

нодисперсными модифицирующими добавками // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 4–5.

13. Бабаев В.Б., Строчкова В.В., Нелюбова В.В. Базальтовое волокно как компонент для микроармирования цементных композитов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 58–61.

14. Завадская Л.В., Бердов Г.И., Агалакова Я.С., Шишмакова Е.А. Влияние дисперсных минеральных добавок на структуру и прочность гипсового камня // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 10 (658). С. 18–22.

15. Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Buryanov A.F., Petropavlovskii K.S. Self-hardening of a gypsum // Key Engineering Materials. 2017. Vol. 729: Structural and Smart Materials. pp. 517–521.

16. Li G.Y., Wang P.M., Zhao X. Mechanical behavior and microstructure of cement composites incorporating surface-treated multi walled carbon nanotubes // Carbon. 2005. Vol. 43. Issue 6. Pp. 1239–1245.

17. Lutz W. Composites Technologies-Zusammenfassung.

18. Huntzinger D.N., Eatmon T.D. A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies // Journal of Cleaner Production. 2009. Vol. 17. Issue 7. Pp. 668–675.

19. Jung T.H., Subramanian R.V. Alkali resistance enhancement of basalt fibers by hydrated zirconia films formed by the sol-gel process // Journal of Materials Research. 1994. Vol. 9. Issue 4. Pp. 1006–1013.

20. Buryanov A.F., Novichenkova T.B., Petropavlovskaya V.B., Petropavlovskii K.S. Simulating the structure of gypsum composites using pulverized basalt waste // MATEC Web Conf. 2017. Vol. 117: RSP 2017 — XXVI R-S-P Seminar 2017 Theoretical Foundation of Civil Engineering. Art. 00026.

Поступила в редакцию 1 сентября 2017 г.

Принята в доработанном виде 20 октября 2017 г.

Одобрена для публикации 23 ноября 2017 г.

О Б АВТОРАХ: **Петропавловская Виктория Борисовна** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, **Тверской государственный технический университет (ТвГТУ)**, 170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, д. 22; victoriapetrop@gmail.com;

Новиченкова Татьяна Борисовна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, **Тверской государственный технический университет (ТвГТУ)**, 170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, д. 22; tanovi.69@mail.ru;

Бурьянов Александр Федорович — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, rga-service@mail.ru;

Соловьев Виталий Николаевич — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства объектов тепловой и атомной энергетики, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, sol-v-n@mail.ru;

Петропавловский Кирилл Сергеевич — аспирант кафедры высшей математики, **Тверской государственный технический университет (ТвГТУ)**, 170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, д. 22; ekrigor@gmail.com.

REFERENCES

1. Ferronskaya A.V. Perspektivy proizvodstva i primeneniya gipsovykh materialov v XXI veke [Prospects for the production and use of gypsum materials in the 21st century]. *Povyshenie effektivnosti proizvodstva i primeneniya gipsovykh materialov i izdeliy: mat. II Vseros. seminara s mezhdunar. uchastiem* [Increase of production efficiency and application of gypsum materials and products: proceedings of the II All-Russia's seminar with the international participation]. Moscow, LM-PRINT Publ., 2004, pp. 11. (In Russian)

2. Khezhev Kh. A. Gipsobetonnye kompozity, armirovannye bazal'tovymi voloknami [Gypsum-con-

crete composites reinforced with basalt fibers]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers]. 2013, no. 2, pp. 152–156. (In Russian)

3. Kuz'mina V.P. Sposob vvedeniya bazal'tovogo volokna v kompozitnye materialy [Method of introducing basalt fiber into composite materials]. *Nanotekhologii v stroitel'stve: nauchnyy internet-zhurnal* [Nanotechnologies in construction: a scientific online journal]. 2011, no. 2, pp. 59–64. Available at: http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nano-build_2_2009_RUS.pdf. (In Russian)

4. Osnos M.S., Osnos S.P. Bazal'tovye nepre-ryvnye volokna: osnovnye preimushchestva, kharakteristiki, oblasti primeneniya [Basalt continuous fibers: main advantages, characteristics, applications]. *Kompozitnyy mir* [Composite World]. 2009, no. 5 (26), pp. 36–39. (In Russian)
5. Gordina A.F., Ignat'eva A.D., Polyanskikh I.S. et al. Gipsovye kompozitsii s mekhanoaktivirovannym mikrokremnezemom [Gypsum compositions with mechanically activated microsilica]. *Integratsiya, partnerstvo i innovatsii v stroitel'noy nauke i obrazovanii : sb. mat. Mezhdunar. nauch. konf. Natsional'nyy issledovatel'skiy Moskovskiy gosudarstvennyy stroitel'nyy universitet* [Integration, partnership and innovation in building science and education : collected works of the International Scientific Conference. National Research Moscow State University of Civil Engineering]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering, 2017, pp. 592–595. (In Russian)
6. Strokova V.V., Cherevatova A.V., Zhernovskiy I.V., Voytovich E.V. Osobennosti fazoobrazovaniya v kompozitsionnom nanostrukturirovannom gipsovom vyazhushchem [Features of phase formation in a composite nanostructured gypsum binder]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2012, no. 7, pp. 9–12. (In Russian)
7. Garkavi M.S., Panferova A.Yu., Nekrasova S.A., Mikhaylova K.A. Formirovanie struktury nanomodifitsirovannogo gipsopolimernogo materiala [Formation of the structure of nanomodified gypsum-polymer material]. *Sukhie stroitel'nye smesi* [Dry mixes]. 2013, no. 2, pp. 38–40. (In Russian)
8. Nelyubova V.V., Strokova V.V., Sumin A.V., Jernovskiy I.V. The structure formation of the cellular concrete with nanostructured modifier. *Key Engineering Materials*. 2017. Vol. 729: Structural and Smart Materials. pp. 99–103.
9. Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Bur'yanov A.F. et al. Samoarmirovannye gipsovye kompozity [Self-reinforced gypsum composites]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2014, no. 7, pp. 19–21. (In Russian)
10. Kozhukhova N.I., Chizhov R.V., Zhernovskiy I.V., Strokova V.V. Structure formation of geopolymer perlite binder vs. type of Alkali activating agent. *International Journal of Pharmacy and Technology*. 2016, vol. 9 (1), pp. 28220–28228. (In Russian)
11. Potapova E.N., Manushina A.S., Urbanov A.V. Vliyanie volokon na svoystva gipsotsementno-putstsolanovogo vyazhushchego [Effect of fibers on the properties of gypsum cement-pozzolanic binder]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Advances in Chemistry and Chemical Technology]. 2016, no. 7, pp. 66–67. (In Russian)
12. Maeva I.S., Yakovlev G.I., Pervushin G.N. et al. Strukturirovanie angidritovoy matritsy nanodispersnymi modifitsiruyushchimi dobavkami [Structuring an anhydrite matrix with nanodispersed modifying additives]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials], 2009, no. 6, pp. 4–5. (In Russian)
13. Babaev V.B., Strokova V.V., Nelyubova V.V. Bazal'tovoe volokno kak komponent dlya mikroarmirovaniya tsementnykh kompozitov [Basalt fiber as a component for micro-reinforcement of cement composites]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova* [Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov]. 2012, no. 4, pp. 58–61. (In Russian)
14. Zavadsкая L.V., Berdov G.I., Agalakova Ya.S., Shishmakova E.A. Vliyanie dispersnykh mineral'nykh dobavok na strukturu i prochnost' gipsovogo kamnya [Effect of dispersed mineral additives on the structure and strength of gypsum stone]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [News of Universities. Construction]. 2013, no. 10 (658), pp. 18–22. (In Russian)
15. Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Buryanov A.F., Petropavlovskiy K.S. Self-hardening of a gypsum. *Key Engineering Materials*. 2017, vol. 729: Structural and Smart Materials, pp. 517–521.
16. Li G. Yi., Wang P.M., Zhao X. Mechanical behavior and microstructure of cement composites incorporating surface-treated multi walled carbon nanotubes. *Carbon*. 2005, vol. 43, issue 6, pp. 1239–1245.
17. Lutz W. *Composites Technologies-Zusammenfassung*.
18. Huntzinger D.N., Eatmon T.D. A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies. *Journal of Cleaner Production*. 2009, vol. 17, issue 7, pp. 668–675.
19. Jung T.H., Subramanian R.V. Alkali resistance enhancement of basalt fibers by hydrated zirconia films formed by the sol-gel process. *Journal of Materials Research*. 1994, vol. 9, issue 4, pp. 1006–1013.
20. Buryanov A.F., Novichenkova T.B., Petropavlovskaya V.B., Petropavlovskiy K.S. Simulating the structure of gypsum composites using pulverized basalt waste. *MATEC Web of Conference*. 2017, vol. 117: RSP 2017 — XXVI R-S-P Seminar 2017 Theoretical Foundation of Civil Engineering. Art. 00026.

Received September 1, 2017.

Adopted in final form on October 20, 2017.

Approved for publication on November 23, 2017.

ABOUT THE AUTHORS: **Petropavlovskaya Viktoriya Borisovna** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Building products and constructions Department, **Tver State Technical University (TvSTU)**, 22 Afanasiya Nikitina naberezhnaya, 170026, Tver, Russian Federation; victoriapetrop@gmail.com;

Novichenkova Tat'yana Borisovna — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Building Products and Constructions Department, **Tver State Technical University (TvSTU)**, 22 Afanasiya Nikitina naberezhnaya, 170026, Tver, Russian Federation; tanovi.69@mail.ru;

Bur'yanov Aleksandr Fedorovich — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Technology Binders and Concretes Department, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, 129337, Russian Federation, rga-service@mail.ru;

Solov'ev Vitaliy Nikolaevich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Construction of Thermal and Nuclear Power Facilities, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, 129337, Russian Federation, sol-vn-@mail.ru;

Petropavlovskii Kirill Sergeevich — Post-graduate student, Department of Higher Mathematics, **Tver State Technical University (TvSTU)**, 22 Afanasiya Nikitina naberezhnaya, 170026, Tver, Russian Federation; ekrioro@gmail.com.