

ВЛИЯНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ СИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ

Б.Ч. Нурымбетов, Ш.Н. Туремуратов*, А.Д. Жуков, М.О. Асаматдинов****

*Каракалпакский государственный университет им. Бердаха (КГУ им. Бердаха),
230100, Республика Узбекистан, г. Нукус, ул. Ч. Абдилова, д. 1;*

**Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук Каракалпакского отделения
Академии наук Республики Узбекистан (Каракалпакский научно-исследовательский институт
естественных наук ККО АН РУз), 230100, Республика Узбекистан, г. Нукус, пр-т Бердаха, д. 41;*

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

АННОТАЦИЯ. Известково-белитовое вяжущее получают обжигом природных мергелей, мергелизованных или запесоченных известняков, а также искусственных кремнеземсодержащих смесей при температурах около 1000 °С с выдержкой 90 мин. Наряду с оксидом кальция вяжущее содержит значительные количества двухкальциевого силиката и некоторые другие минералы, состав и количество которых зависят от химического состава и температуры обжига используемого сырья. Однако оксида кремния недостаточно для образования в продуктах обжига сырьевого мергеля нужного количества белита, необходимого для получения высоких прочностных свойств.

Основными целями работы являлись подбор состава исходных композиций и изучение химического и минералогического состава вяжущего на основе мергелей месторождений Акбурлы и Порлытау, чтобы повысить содержание белита (β - C_2S) в продуктах термообработки и получения высокопрочного вяжущего.

Для повышения содержания белита β - C_2S в продуктах термообработки в состав сырьевого материала вводили 5, 10 и 20 % молотого кварцевого песка. Кварцевый песок измельчался до полного прохождения через сито № 008. Удельная поверхность находилась в пределах 2500...3200 cm^2/g .

Показано, что константа основности с увеличением содержания песка уменьшается, а содержание алюминатов, ферритов и сульфатов кальция практически не изменяется, так как в составе песка отсутствуют глинистые составляющие.

Результаты исследований совместной термообработки мергелей с молотым кварцевым песком предполагают, что оптимальное содержание песка в сырьевой смеси должно составлять 10 %. При таких соотношениях компонентов термообрабатываемого сырья происходят взаимодействия с образованием относительно наибольшего количества белита, который будет обеспечивать высокие прочностные свойства изделий на основе этого вяжущего.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: белит, вяжущее, раствор, добавки, кремнезем, гидратационное структурообразование

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Нурымбетов Б.Ч., Туремуратов, Ш.Н., Жуков А.Д., Асаматдинов М.О. Влияние тонкодисперсного наполнителя на процессы образования силикатов кальция // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 4 (103). С. –. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.4.

EFFECTS OF FINELY DISPERSED FILLER ON THE CALCIUM SILICATE FORMATION

B.Ch. Nuryrbetov, Sh.N. Turemuratov*, A.D. Zhukov, M.O. Asamatdinov****

*Karakalpak State University named after Berdakh (KSU named after Berdakh),
1 Ch. Abdirova str., Nukus, Republic of Uzbekistan, 230100;*

**Karakalpak Scientific Research Institute of Natural Sciences of the Karakalpak Branch of the Academy of Sciences of the
Republic of Uzbekistan (Karakalpak Scientific Research Institute of Natural Sciences of KKB AS RUz),
41 Berdakha Street, Nukus, Republic of Uzbekistan, 230100;*

***Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU),
26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337*

ABSTRACT. Lime-belite binder is obtained by firing natural marls, marlized or sanded limestones, as well as artificial silica-containing mixtures at temperatures of about 1000 °C with exposure of 90 minutes. Along with calcium oxide, the binder contains significant amounts of dicalcium silicate and some other minerals the composition and quantity of which depend on the chemical composition and firing temperature of the raw materials. However, silicon oxide is not enough to form in the firing products of raw marl the required amount of belite needed to obtain high strength properties.

The main research purposes were selection of the initial compositions and study of the chemical and mineralogical binder compositions on the basis of marls of the Akburly and Porlytau deposits in order to increase the content of belite (β - C_2S) in the heat treatment products and obtain a high-strength binder.

5, 10 and 20 % of ground quartz sand were injected into the raw material to increase the content of belite (β - C_2S) in heat treatment products and obtain the high-strength binder. The quartz sand was ground up until it completely passed through a 008 sieve. The specific surface area was within the range 2500 ... 3200 cm^2/g .

It was shown that the basicity constant decreases as the sand content increases, and the content of aluminates, ferrites and calcium sulphates is almost unchanged, since the sand contains no clay components.

The study results of joint heat treatment of marls and ground quartz sand suggest that the optimum sand content in the raw mix should be 10 %. With such proportions of heat-treated raw material components, their interactions result in the formation of a relatively large amount of belite which will provide the high strength properties of products based on this binder.

KEY WORDS: belite, binder, solution, admixture, silica, hydration structure formation

FOR CITATION: Nurymbetov B.Ch., Turemuratov Sh.N., Zhukov A.D., Asamatdinov M.O. Vliyaniye tonkodispersnogo napolnitelya na protsessy obrazovaniya silikatov kal'tsiya [Effects of Finely Dispersed Filler on the Calcium Silicate Formation]. Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 4 (103), pp. . (In Russian) DOI: 10.22227/1997-0935.2017.4.

Сырьевые смеси для получения белитовых модифицированных вяжущих готовят совместным помолом мергелей с кварцевым песком, трепелом или глинами. Оптимальная температура термообработки мергелей — 1000 °С с выдержкой 90 мин [1, 2]. В этом режиме в продуктах термообработки образуется наибольшее количество белита β -C₂S. Но для образования достаточного количества белита в продуктах обжига количества оксида кремния SiO₂ в сырьевом мергеле недостаточно. При термообработке мергеля можно получить до 70,45 % белита [3, 4].

В целях повышения содержания β -C₂S в продуктах термообработки и получения при этом высокопрочного вяжущего в состав сырьевого материала вводили 5, 10 и 20 % молотого кварцевого песка (промытый вольский песок) [5, 6]. По данным химического анализа использованный кварцевый песок имеет следующий состав, %: SiO₂ — 99,60; (Fe₂O₃+Al₂O₃) — 0,63; CaO — следы; Na₂O — 0,08.

Поверхность зерен кварца неоднородна и состоит из двух качественно различных участков, обладающих различными энергетическими и адсорбционными свойствами: силанольных участков, в которых поверхностные атомы кремния связаны с гидроксильными группами, и силоксановых участков, атомы кремния в которых не связаны с гидроксильными группами. Для реальной поверхности кварца соотношение между этими участками может быть различным в зависимости от ее строения [7, 8]. Свойства силанольных участков зависят от распределения ОН-групп на поверхности. Наиболее химически активными являются участки, на которых ОН-группы расположены наиболее плотно. Силоксановые участки менее активны, чем силанольные.

В результате механической обработки на поверхности кварца возникает деструктурированный слой толщиной 50...100 мкм, но наиболее сильно аморфизирован поверхностный слой толщиной в 0,5 мкм [9, 10].

Кроме дефектов, вызванных механической обработкой, поверхность кварца может иметь и другие различного рода дефекты: точечные, одномерные (дислокация), двумерные (границы между блоками), различные включения и др. Точечные дефекты выявляются при воздействии на кристалл различных типов облучения и методов декориро-

вания. В природных кварцах существует от одной до четырех разновидностей агрегатов точечных дефектов, различающихся по активности и симметрии [11, 12].

Кварцевый песок был измельчен в лабораторной фарфоровой шаровой мельнице до полного прохождения через сито № 008. Удельная поверхность находилась в пределах 2500...3200 см²/г. Измельченный до нужной удельной поверхности кварцевый песок добавляли в мергель, полученную смесь тщательно перемешивали в закрытых колбах, затем в фарфоровой ступке до получения однородного продукта. После чего смесь подвергли термообработке в лабораторной силитовой печи при 1000 °С с выдержкой 90 мин. Состав продуктов новообразований после термообработки смеси был определен рентгенофазовым (рис. 1–3) и ИК-спектроскопическим (рис. 4) методами анализа, а также минералогическим анализом (табл.).

Рентгенограммы показывают, что при введении 5 % кварцевого песка интенсивность линий, характерных для белита (0,274 и 0,217 нм), усиливается (см. рис. 1) по сравнению с линиями белита без добавки песка. Линии, характерные для свободного оксида кальция (0,239 и 0,169 нм), снижаются. При этом сохраняются линии, характерные для алюминатов и ферритов кальция.

Увеличение вводимого количества песка до 10 % (см. рис. 2) не вносит особых изменений, только усиливается интенсивность линий белита (0,274, 0,273 и 0,217 нм) и уменьшаются линии, характерные для свободного оксида кальция (0,239 и 0,169 нм).

При введении 20 % кварцевого песка (см. рис. 3) несколько увеличивается интенсивность линий белита, а также линий, характерных для самого кварца (0,198 нм). При этом остается неизменной интенсивность линий, характерных для свободного оксида кальция. Для полного связывания SiO₂ с оксидом кальция в данном случае недостаточно либо выдержки, либо температуры. Это подтверждает и минералогический (см. табл.) состав образующегося известково-белитового вяжущего (ИБВ).

Из данных таблицы также видно, что константа основности $K_{осн}$ с увеличением содержания песка уменьшается, а содержание алюминатов, ферритов и сульфатов кальция практически не изменяется,

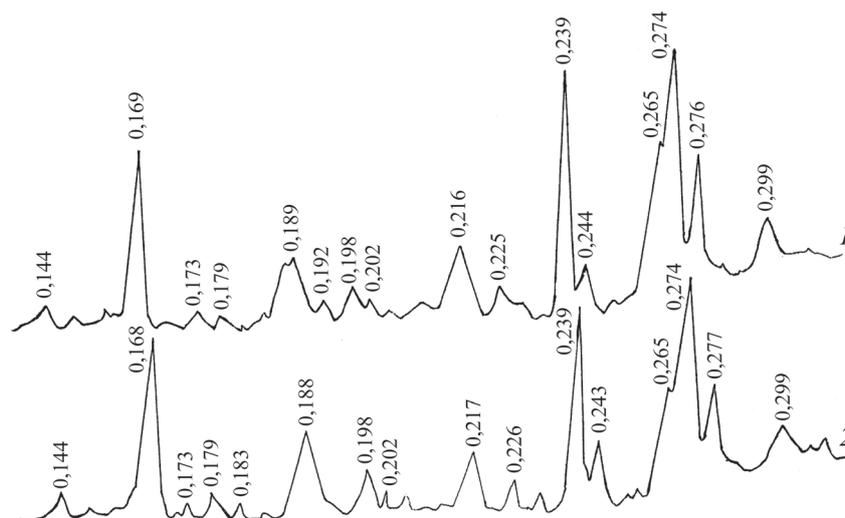


Рис. 1. Рентгенограммы продуктов термообработки мергелей месторождений Акбурлы (1) и Порлытау (2) с добавкой 5 % кварцевого песка

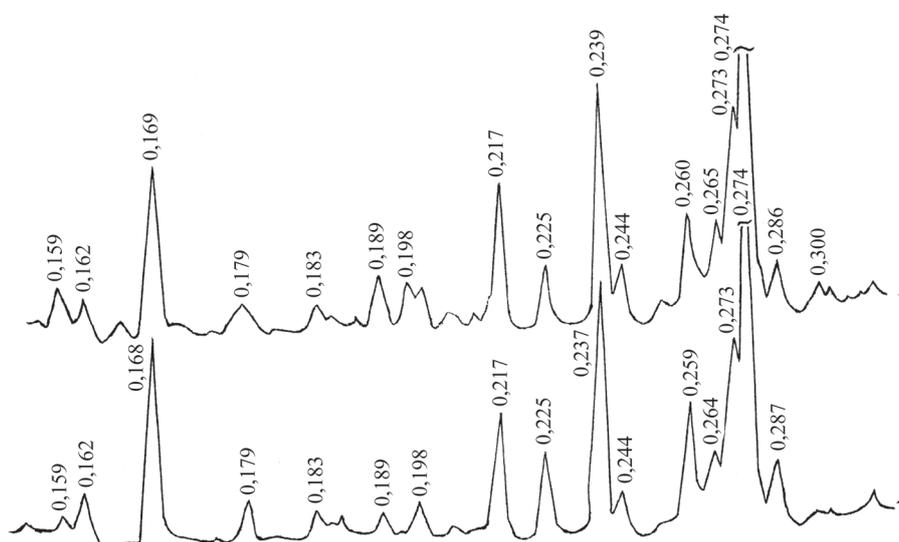


Рис. 2. Рентгенограммы продуктов термообработки мергелей месторождений Акбурлы (1) и Порлытау (2) с добавкой 10 % кварцевого песка

Минералогический состав продуктов термообработки мергелей с кварцевым песком

Месторождение мергелей	Добавка песка, %	K _{осн}	Содержание минералов, %			
			C ₃ A	C ₂ F	CaSO ₄	C ₂ S
Акбурлы	5	5,52	6,60	3,11	0,43	38,05
Акбурлы	10	3,24	6,60	3,11	0,43	48,31
Акбурлы	20	3,07	6,60	3,11	0,43	64,27
Порлытау	5	2,89	10,06	3,11	5,80	38,29
Порлытау	10	2,37	10,06	3,11	5,80	45,67
Порлытау	20	1,75	10,06	3,11	5,80	61,33

так как в составе песка отсутствуют глинистые составляющие.

Содержание двухкальциевого силиката пропорционально увеличивается с увеличением количества вводимых добавок, соответственно уменьшается количество свободного оксида кальция (рис. 4).

Это связано со взаимодействием кварца с оксидом кальция с последующим образованием двухкальциевого силиката. Данные, приведенные на рис. 4, подтверждают результаты рентгенографического анализа и минералогического состава. Снижение содержания свободной извести положительно сказывается на свойствах вяжущего, в т.ч. по отношению к воздействию влаги.

Результаты исследований совместной термообработки мергелей с молотым кварцевым песком показывают, что оптимальное содержание песка в

сырьевой смеси должно быть 10 %. При таких соотношениях компонентов термообрабатываемого сырья происходит взаимодействие с образованием относительно наибольшего количества белита, который будет характеризовать высокие прочностные свойства изделий на основе этого вяжущего.

Полученное белитовое вяжущее очевидно относится к местным строительным материалам. В условиях дефицита высокомарочного портландцемента у белитового вяжущего существуют реальные перспективы. Этот материал может быть использован как основной компонент сухих строительных смесей для кладочных растворов и для штукатурных составов, а также как самостоятельное вяжущее, применяемое в малоэтажном строительстве.

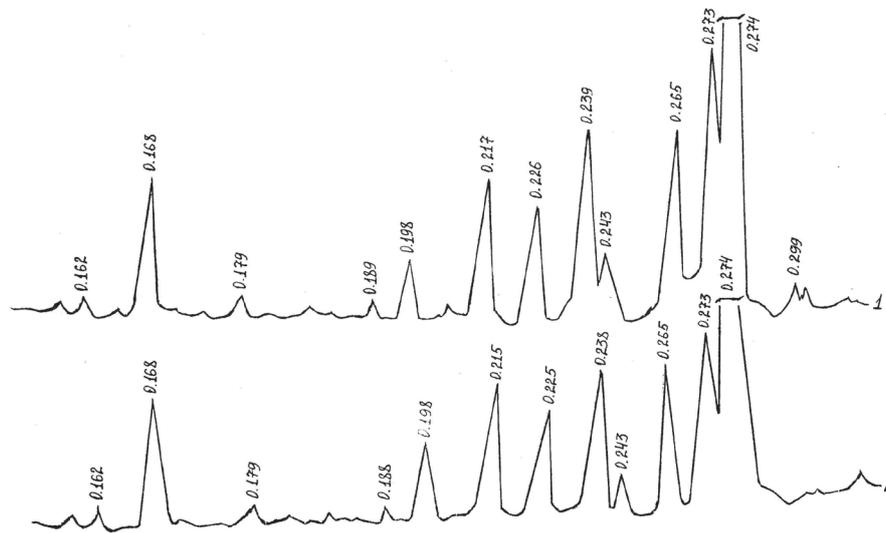


Рис. 3. Рентгенограммы продуктов термообработки мергелей месторождений Акбурлы (1) и Порлытау (2) с добавкой 20 % кварцевого песка

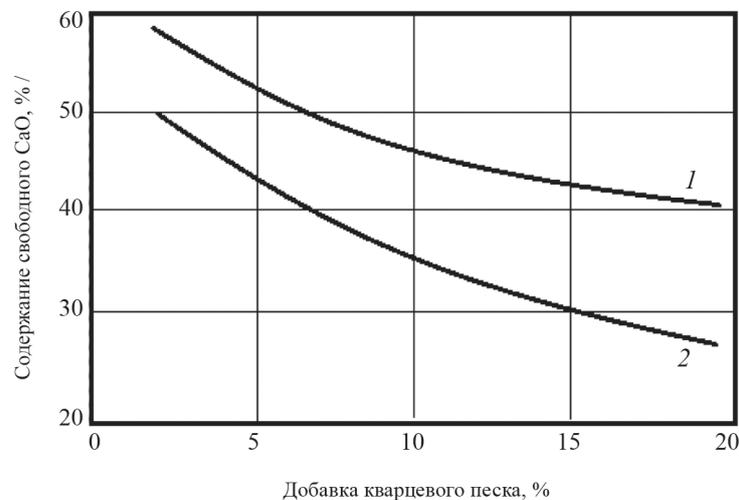


Рис. 4. Зависимость содержания свободного оксида кальция от количества добавки ИБВ на основе мергелей месторождений Акбурлы (1) и Порлытау (2)

ЛИТЕРАТУРА

1. Туремуратов Ш.Н., Нурымбетов Б.Ч., Адылов Д.К. Синтез и исследования известково-белитового вяжущего на основе мергеля Акбурлинского месторождения // Наука и образование Южного Казахстана. 2000. № 11. С. 223–225.
2. Коровяков В.Ф. Перспективы применения водостойких гипсовых вяжущих в современном строительстве // Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий : мат. Всеросс. семинара. М. : РААСН, 2002. С. 51–56.
3. Нурымбетов Б.Ч., Адылов Д.К., Туремуратов Ш.Н. Регулирование активности известково-белитового вяжущего с добавкой растворимого гипса // Вестник Ошского государственного университета. Серии: Химия и химическая технология. 2001. № 2. С. 204–207.
4. Ефименко А.З., Пилипенко А.С. Управление производством и поставками комплектов изделий и конструкций предприятиями стройиндустрии // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 9. С. 65–67.
5. Соков В.Н., Бегларов А.Э., Жабин Д.В. и др. О возможностях создания эффективных теплоизоляционных материалов методом комплексного воздействия на активные подвижные массы гидротеплосиловым полем // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 9. С. 17–19.
6. Орлова А.М., Григорьева Л.С., Волов А.Д. и др. Разработка системы газообразователей для поризованных гипсов // Вестник МГСУ. 2011. № 1–2. С. 304–308.
7. Жуков А.Д., Орлова А.М., Наумова Т.А. и др. Экологические аспекты формирования изоляционной оболочки зданий // Научное обозрение. 2015. № 7. С. 209–212.
8. Овчаренко Е.Г. Тенденции в развитии производства утеплителей в России // РосТепло.ru. Режим доступа: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=172.
9. Гагарин В.Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2010. № 3. С. 8–16.
10. Румянцев Б.М., Жуков А.Д., Смирнова Т.В. Энергетическая эффективность и методология создания теплоизоляционных материалов // Интернет-Вестник ВолГА-СУ. Серия: Политематическая. 2014. № 4 (35). С. 3. Режим доступа: <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=1789>.
11. Румянцев Б.М., Жуков А.Д. Теплоизоляция и современные строительные системы // Кровельные и изоляционные материалы. 2013. № 6. С. 11–13.
12. Орешкин Д.В., Семенов В.С. Современные материалы и системы в строительстве — перспективное направление обучения студентов строительных специальностей // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 92.

Поступила в редакцию в апреле 2016 г.

Принята в доработанном виде в августе 2016 г.

Одобрена для публикации в феврале 2017 г.

Об авторах: **Нурымбетов Бахтияр Чимбергенович** — кандидат технических наук, доцент, **Каракалпакский государственный университет им. Бердаха (КГУ им. Бердаха)**, 230112, Республика Узбекистан, г. Нукус, ул. Ч. Абдирова, д. 1, nbch2010@mail.ru;

Туремуратов Шарибай Наурызбаевич — кандидат химических наук, **Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук Каракалпакского отделения Академии наук Республики Узбекистан (Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук ККО АН РУз)**, 230100, Республика Узбекистан, г. Нукус, пр-т Бердаха, д. 41, sharibay_60@inbox.uz;

Жуков Алексей Дмитриевич — кандидат технических наук, доцент кафедры технологии композиционных материалов и прикладной химии, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, lj211@yandex.ru;

Асаматдинов Марат Орынбаевич — аспирант кафедры технологии композиционных материалов и прикладной химии, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, marat.asamatdinov@mail.ru.

REFERENCES

1. Turemuratov S.N., Nurymbetov B.C., Adylov D.K. Sintez i issledovaniya izvestkovo-belitovogo vyazhushchego na osnove mergelya Akburlinskogo mestorozhdeniya [Synthesis and Investigation of Lime-belite Binder based on Marl of the Akburlly Deposit]. *Nauka i obrazovaniye Yuzhnogo Kazakhstana* [Science and Education of the Southern Kazakhstan]. 2000, no. 11, pp. 223–225. (In Russian)
2. Korovyakov V.F. Perspektivy primeneniya vodostoykikh gipsovykh vyazhushchikh v sovremennom stroitel'stve [Perspectives of Using Waterproof Gypsum Binders in the Modern Construction]. *Povysheniye effektivnosti proizvodstva i primeneniya gipsovykh materialov i izdeliy : materialy vserossiyskogo seminar* [Increasing of the Production Efficiency and Use of the Gypsum Materials and Products : Materials of the All-Russian Seminar]. Moscow, RAASN Publ, 2002, pp. 51–56. (In Russian)
3. Nurymbetov B.C., Adylov D.K., Turemuratov S.N. Regulirovaniye aktivnosti izvestkovo-belitovogo vyazhushchego s dobavkoy rastvorimogo gipsa [Regulation of the Activity of Lime-belite Binder with the Addition of Soluble Gypsum]. *Vestnik Oshskogo gosudarstvennogo universiteta. Serii: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Bulletin of Osh State University. Library: Chemistry and Chemical Technology]. 2001, no. 2, pp. 204–207. (In Russian)
4. Yefimenko A.Z., Pilipenko A.S. Upravleniye proizvodstvom i postavkoy komplektuyushchikh izdeliy i konstruksiy predpriyatiy stroyindustrial'noy [Management of the Production and Supply of Sets of the Products and Structures by the Construction Industry], *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo* [Industrial and Civil Construction]. 2013, no. 9, pp. 65–67. (In Russian)

5. Sokov V.N., Beglyarov A.E., Zhabin D.V. et al. O vozmozhnostyakh sozdaniya effektivno-tivnykh teploizolyatsionnykh materialov; kompleksnoye vozdeystviye na aktivnyye podvizhnyye massy gidroteplosilovykh poley [On the Possibilities of Creating Efficient Heat-Insulating Materials through the Integral Action on the Active Moving Masses of the Hydro-Thermal Power Field]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo* [Industrial and Civil Construction]. 2012, no. 9, pp. 17–19. (In Russian)
6. Orlova A.M., Grigor'yeva L.S., Volov A.D. et al. Razrabotka sistem gazoobrazovateley dlya porizovannykh gipsov [Development of Gas Generator Systems for Porous Gypsum]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011, no. 1–2, pp. 304–308. (In Russian)
7. Zhukov A.D., Orlova A.M., Naumova T.A. et al. Ekologicheskiye aspekty formirovaniya-rovaniya izolyatsionnoy obolochki zdaniy [Ecological Aspects of the Formation of the Buildings Insulating Shell]. *Nauchnoye obozreniye* [Scientific Review]. 2015, no. 7, pp. 209–212. (In Russian)
8. Ovcharenko Ye.G. Tendentsii v razvitii proizvodstva utepliteley v Rossii [Trends in the Insulation Production Development in Russia]. *RosTeplo.ru*. Available at: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=172. (In Russian)
9. Gagarin V.G. Makroekonomicheskiye aspekty obosnovaniya energosberegayushchikh meropriyatiy pri povyshenii teplozashchity ograzhdayushchikh konstruktivnykh zdaniy [Macroeconomic Aspects of the Rationale For Energy-Saving Measures In Improving The Thermal Protection Of Building Structures]. *Stroitel'nyye materialy* [Construction Materials]. 2010, no. 3, pp. 8–16. (In Russian)
10. Rumyantsev B.M., Zhukov A.D., Smirnova T.V. Energeticheskaya effektivnost' i metodologiya sozdaniya teploizolyatsionnykh materialov [Energy Efficiency and Methodology for Creating Heat-Insulating Materials]. *Internet-Vestnik VolgGASU. Seriya: Politematicheskaya* [Internet-Bulletin of VolgGASU. Library: Polythematic]. 2014, no. 4 (35), p. 3. Available at: <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articulo=1789>. (In Russian)
11. Rumyantsev B.M., Zhukov A.D. Teploizolyatsiya i sovremennyye stroitel'nyye sistemy [Thermal Insulation and Modern Construction Systems]. *Krovel'nyye i izolyatsionnyye materialy* [Roofing and Insulation Materials]. 2013, no. 6, pp. 11–13. (In Russian)
12. Oreshkin D.V., Semenov V.S. Sovremennyye materialy i sistemy v stroitel'stve - perspektivnoye napravleniye obucheniya studentov stroitel'nykh spetsial'nostey [Modern Materials and Systems in Construction — a Promising Direction for the Construction Specialties Students]. *Stroitel'nyye materialy* [Construction Materials]. 2014, no. 7, pp. 92. (In Russian)

Received in April 2016.

Adopted in revised form in August 2016.

Approved for publication in February 2017.

About the authors: **Nurymbetov Bakhtiyar Chimbergenovich** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, **Karakalpak State University named after of Berdakh (KSU)**, 1 Ch. Abdirova str., Nukus, 230112, Republic of Uzbekistan; Nbch2010@mail.ru;

Turemuratov Sharibay Nauryzbaevich — Candidate of Chemical Sciences, **Karakalpak Scientific Research Institute of Natural Sciences of the Karakalpak Branch of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Karakalpak Scientific Research Institute of Natural Sciences of KKB AS RUz)**, 41 Berdakh str., Nukus, Republic of Uzbekistan, 230100; sharibay_60@inbox.uz;

Zhukov Aleksey Dmitrievich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Composite Materials Technology and Applied Chemistry, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; lj211@yandex.ru;

Asamatdinov Marat Orynbaevich — postgraduate student, Department of Composite Materials Technology and Applied Chemistry, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; marat.asamatdinov@mail.ru.