

DOI: 10.12737/article_5bd95a707f00e2.65839546

^{1,*}Ерофеев В.Т., ¹Родин А.И., ²Бочкин В.С., ¹Якунин В.В., ¹Чегодайкин А.М.,
¹Казначеев С.В.

¹Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва
Россия, 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68

²ООО «Комбинат теплоизоляционных изделий»

*E-mail: AL_Rodin@mail.ru

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ

Аннотация. Приоритетными направлениями государственной политики в области обращения с отходами являются: максимальное использование исходного сырья и материалов, предотвращение образования отходов и др. В техногенных отходах сосредоточено огромное количество сырьевых материалов. Одним из видов твердых промышленных отходов являются отходы производства минеральной ваты, так называемые «корольки», которые составляют от 15 до 30 % от готовой продукции. Химический и фазовый состав данного вида отхода делает возможным использовать его в качестве активной минеральной добавки при производстве портландцемента. Данная статья посвящена изучению особенностей влияния отходов производства минеральной ваты на процессы гидратационного твердения цементного камня и технологические свойства цементных паст и затвердевших композитов. С позиции обеспечения получения материалов с нормативными и улучшенными свойствами в результате проведенных исследований подтверждена возможность использования отходов производства минеральной ваты в качестве активной минеральной добавки для цемента.

Ключевые слова: портландцемент, физико-механические свойства, отходы производства минеральной ваты, цементные композиты, активная минеральная добавка.

Введение. В России ежегодно образуется около 7 млрд. т промышленных отходов, при этом используется лишь 2 млрд. т или 28 %. Из общего объема используемых отходов около 80 % (вскрышные породы и отходы обогащения) направляются на закладку выработанного пространства шахт и карьеров, 2 % отходов используется в качестве топлива и минеральных удобрений и всего лишь 18 % или 360 млн. т применяются в качестве возвратного сырья (из них 200 млн. т – в стройиндустрии). На территории нашей страны в отвалах и хранилищах накоплено свыше 100 млрд. т твердых промышленных отходов. Сконцентрированные в отвалах и свалках отходы являются источниками загрязнения поверхностных и подземных вод, атмосферы, почвы и растений. При этом изымаются из хозяйственного оборота сотни тысяч гектаров земель. Между тем, в техногенных отходах сосредоточено огромное количество различных сырьевых материалов [1, 2].

Одним из видов твердых промышленных отходов являются отходы производства минеральной ваты, так называемые «корольки», которые составляют от 15 до 30 % мас. от готовой продукции. По данным статистики таких отходов в России скопилось уже около 5-6 млн. м³. Традиционно, работы по утилизации отходов минераловатного производства – «корольков» ведутся по двум направлениям: возврат в производство минеральной ваты в качестве дополнительного источника сырья и получение новых строительных

материалов. Количество «корольков» задействованных по обоим направлениям остается незначительным и не снимает проблемы утилизации. Однако, химический и фазовый состав данного вида отхода делает возможным использовать его в качестве активной минеральной добавки при производстве портландцемента [1, 3].

В связи с чем, целью данной работы было подтверждение возможности использования отхода от производства минеральной ваты в качестве активной минеральной добавки для цемента, а также изучение особенностей влияния отхода на процессы гидратационного твердения цементного камня и технологические свойства цементных паст и затвердевших композитов.

Методология. При проведении исследования использовались следующие материалы:

Портландцементный клинкер (ОАО «Мордовцемент»), химического состава: CaO – 65,21 %, SiO₂ – 21,650 %, Al₂O₃ – 5,54 %, Fe₂O₃ – 3,88 %, SO₃ – 0,24 %, MgO – 1,28 %, K₂O – 1,08 %, Na₂O – 0,396 %, TiO₂ – 0,234, P₂O₅ – 0,227 %, SrO – 0,129 %, MnO – 0,046 %, ZnO – 0,027 %, Cr₂O₃ – 0,011 % и минералогического состава: 3CaO·SiO₂ – 60,3 %, 2CaO·SiO₂-β 17,8 %, 3CaO·Al₂O₃ – 4,5 %, 4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃ – 15,8 %, Ca(OH)₂ – 0,6 %, CaCO₃ – 0,7 %, MgO – 0,3 %.

Отходы минераловатного производства ООО «Комбинат теплоизоляционных изделий» (г. Саранск), химического состава: CaO – 29,62-29,93 %, SiO₂ – 43,81-43,88 %, Al₂O₃ – 9,13-9,21 %, Fe₂O₃ – 3,73-3,94 %, SO₃ – 0,23-0,24 %, MgO – 8,33-

8,43 %, K_2O – 0,71-0,72 %, Na_2O – 1,33-1,37 %, TiO_2 – 0,46-0,47 %, P_2O_5 – 0,03-0,04 %, SrO – 0,07 %, MnO – 0,16 %, ZnO – 0,002 %, Cr_2O_3 – 0,01 %, ППП – 1,8 % и минералогического состава: $\beta-SiO_2$ – 5,0 %, $Ca_2Al_2SiO_7$ – 1,2 %, $Ca_2MgSi_2O_7$ – 23,8 %, Аморфная фаза – 70,0 % (для отходов фракции больше 0,63 мм) и $\beta-SiO_2$ – 5,6 %, $Ca_2Al_2SiO_7$ – 3,4 %, $Ca_2MgSi_2O_7$ – 1,0 %, Аморфная фаза –

90,0 % (для отходов фракции меньше 0,63 мм). Форма частиц отходов разных фракций представлена на рис. 1, согласно которому видно, что отходы минераловатного производства содержат частицы «королька» размером менее 0,5 мм, агрегаты и свары. В дальнейшей работе использовались отходы фракции меньше 0,63 мм, состоящие в основном из аморфной фазы.

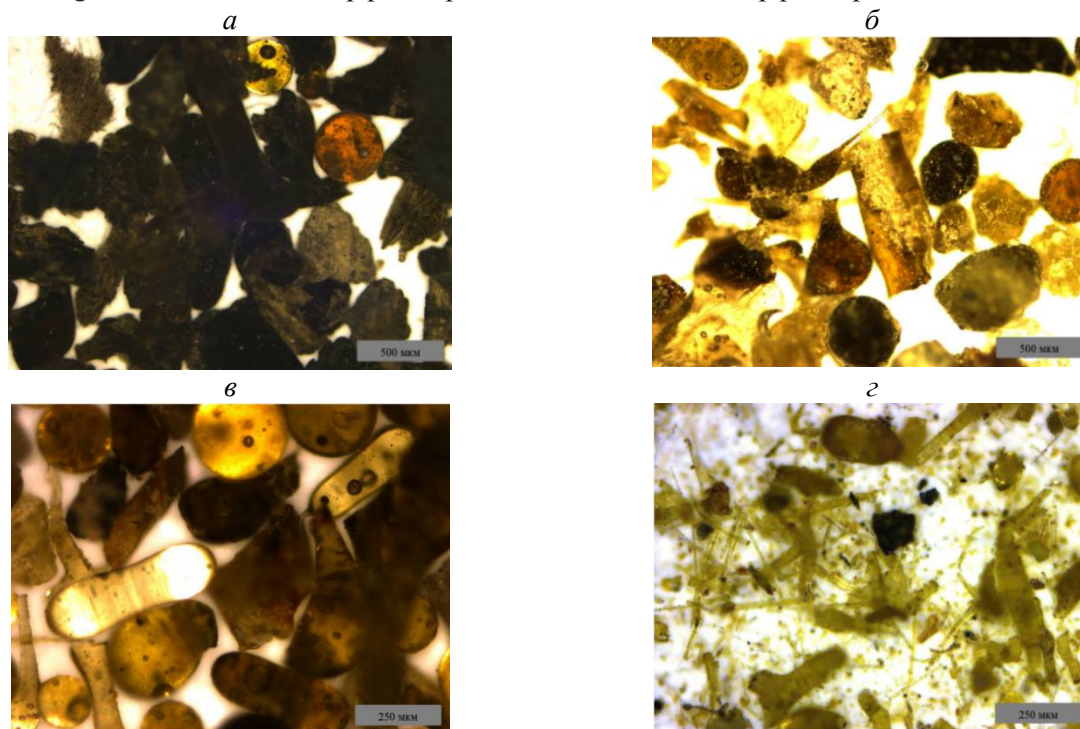


Рис. 1. Форма частиц отходов производства минеральной ваты ООО «Комбинат теплоизоляционных изделий» (г. Саранск) фракций: а – 0,63–1,25; б – 0,315–0,63; в – 0,16–0,315; г – поддон

Модифицированный цемент получали смешиванием портландцемента с размолотыми до удельной поверхности 2 900–3 000 cm^2/g отходами производства минеральной ваты.

В работе исследовались основные технологические свойства цементных композиций: нормальная плотность, сроки схватывания, равномерность изменения объема и водоотделение. Нормальная плотность, и сроки схватывания цементного теста, а также равномерность изменения объема цементного камня определялись в соответствии с ГОСТ 310.3-76, а водоотделение в соответствии с ГОСТ 310.6-85. Также в работе исследованы прочностные характеристики цементного камня, модифицированного отходами производства минеральной ваты, полученного из теста нормальной плотности, и твердевшего в нормально-влажностных условиях. Исследования проводились на образцах с размерами $2 \times 2 \times 2$ см. За окончательный результат принималось среднеарифметическое значение не менее 10 образцов.

Основная часть. Цемент является уникальным строительным материалом, на свойства которого влияют не только физико-химический

особенности самого вяжущего, но содержание и качество применяемых сопутствующих материалов (вода, песок, добавки и др.) [4–10]. Ниже представлены технологические свойства цементных композиций, модифицированных отходами производства минеральной ваты и физико-механические показатели композитов на их основе.

Нормальную плотность цементного теста определяют путем установления необходимого количества воды для затворения цемента. Другими словами, это водоцементное отношение в процентах, при котором достигается нормированная консистенция цементного теста. Данное свойство напрямую зависит от химико-минералогического состава клинкера, удельной поверхности цемента, содержания и особенностей добавок в нем и многих других факторов [11].

В результате проведенных исследований нормальной плотности цементного теста, модифицированного отходами производства минеральной ваты, установлено, что с увеличением в цементе количественного содержания данной добавки нормальная плотность цементного теста уменьшается прямопропорционально с 28,5 %

(без добавки) до 25 % (с 40 % содержанием добавки от массы цемента). Все говорит о положительном влиянии отходов производства минеральной ваты на нормальную плотность цементного теста.

Изготовление новых видов цементов не приемлемо без учета требований существующих технологий производства. Для некоторых материалов необходимы цементы, твердение которых начинается не ранее двух часов после затворения (дорожные покрытия), другим не ранее 30 минут (декоративные покрытия) [12, 13].

В практике производства цементов, а также растворов и бетонов на его основе известно множество способов, способствующих ускорению или замедлению схватывания цемента (путем регулирования химико-минералогического состава цемента, изменением его удельной поверхности, введением добавок замедлителей и ускорителей схватывания) [4].

В результате проведенных исследований установлено, что содержание отходов производства минеральной ваты в цементе практически не сказывается на сроки схватывания цементного теста нормальной плотности.

Известно, что цементный камень не имеет постоянного объема при гидратации. При разной влажности цементные композиты могут разбухать либо давать усадку, зачастую не видимую невооруженным глазом. Данный процесс приводит к искривлению граней строительных изделий, либо появлению волосяных трещин. Химизм данного явления достаточно подробно описан исследователями [11–16].

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о допустимом изменении объема цементного камня, модифицированного от 5 % до 40 % от массы цемента отходами производства минеральной ваты.

Водоотделение характеризует количество воды, отделившейся при расслоении цементного теста вследствие осаждения частиц цемента. Механизм негативного действия данного явления объясняется образованием тонкой водной прослойки между последовательно укладываемыми слоями бетона, продуктами гидратации цемента и крупным заполнителем, а также арматурой, что препятствует получению однородного раствора и бетона и, как следствие, приводит к снижению прочности конечного продукта. Еще одно негативное влияние данного свойства цемента на бетонную и растворную смесь связано с их расслаиванием, что приводит к усложнению мероприятий по обеспечению транспортирования однородных смесей [4, 11].

Современная практика производства цемента предлагает несколько способов понижения

его водоотделения: повышением тонкости помола, увеличением содержания в цементе C_3A , введением добавок (трепела, глины, бентонита и других). Однако не все вводимые добавки одинаково снижают водоотделение цемента [11].

Влияние содержания отходов производства минеральной ваты на водоотделение цемента представлено на рис. 2.

Согласно данным, представленным на рис. 2, водоотделение цемента увеличивается при увеличении содержания в нем отходов производства минеральной ваты с 2,3 % (без добавки) до 10,8 % (с 40 % содержанием добавки от массы цемента). Все составы отвечают требованиям действующих нормативных документов (водоотделение не превысило 25 %), что также говорит о пригодности использования отходов производства минеральной ваты в качестве добавок для цемента.

Прочность является наиболее важным физико-механическим свойством цемента, которое в первую очередь повлияет на прочностные характеристики растворов и бетонов, изготовленных из него. Многие исследователи приводят разные факторы определяющие прочность цементного камня: состав и микроструктура клинкера, количество гипса, удельная поверхность цемента, в/ц отношение, условия твердения, возраст, количество и характер вводимых добавок и др. [4, 11–13]. Технология производства различных строительных материалов, изделий и конструкций на основе цементных вяжущих характеризуется потребностью в цементах с разным классом по прочности.

Влияние количественного содержания отходов производства минеральной ваты на прочность при сжатии цементного камня представлено на рис. 3.

Согласно полученным данным, прочность цементного камня, модифицированного отходами производства минеральной ваты в количестве 5–10 % от массы цемента, увеличивается к 28 суткам твердения на 5–7 % по сравнению с контрольным составом. Дальнейшее увеличение содержания отходов в цементе приводит к незначительному снижению прочности при сжатии. Однако это не соизмеримо с экономической выгодой от большей степени наполнения цемента отходами минераловатного производства. К примеру, прочность цементного камня, модифицированного отходами производства минеральной ваты в количестве 40 % от массы цемента, уменьшается всего на 12 %, что делает возможным получение класса цемента по прочности равного классу рядового цемента, но при этом заменить 40 % клинкера дешевым сырьем.



Рис. 2. Влияние содержания отходов производства минеральной ваты на водоотделение цемента

Выводы. С позиции обеспечения получения материалов с нормативными и улучшенными свойствами в результате проведенных исследований подтверждена возможность использования отходов производства минеральной ваты в качестве активной минеральной добавки для цемента, а также установлено рациональное содержание составляющих компонентов в цементе.

Источник финансирования. Грант Президента Российской Федерации МК-6416.2018.3

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Вдовина Е.В. Получение керамического кирпича на основе бейделлитовой глины и отходов минеральной ваты : дис. ... канд. техн. наук. Самара, 2011. 166 с.
2. Пальгунов П.П., Сумароков М.В. Утилизация промышленных отходов. М.: Стройиздат. 1990. 352 с.
3. Нефедова И.Н., Крашенинникова Н.С., Гарбер Е.Г. Отходы производства минеральной ваты как техногенное сырье // Химия и химическая технология неорганических веществ и материалов : материалы Третьей науч. Конф. Томск : Изд-во Томского политех. ун-та, 2011. С. 33–34.
4. Баженов Ю.М. Технология бетона: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1987. 415 с.
5. Ерофеев В.Т., Баженов Ю.М., Балатханова Э.М., Митина Е.А., Емельянов Д.В., Родин А.И., Карпушин С.Н. Получение и физико-механические свойства цементных композитов с применением наполнителей и воды затворения месторождений чеченской республики // Вестник МГСУ. 2014. № 12. С. 141–151.
6. Ерофеев В.Т., Калашников В.И., Смирнов В.Ф., Карпушин С.Н., Родин А.И., Красноглазов А.М., Челмакин А.Ю. Стойкость цементных композитов на биоцидном портландцементе с активной минеральной добавкой в условиях воздействия модельной среды бактерий // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 1. С. 11–17.

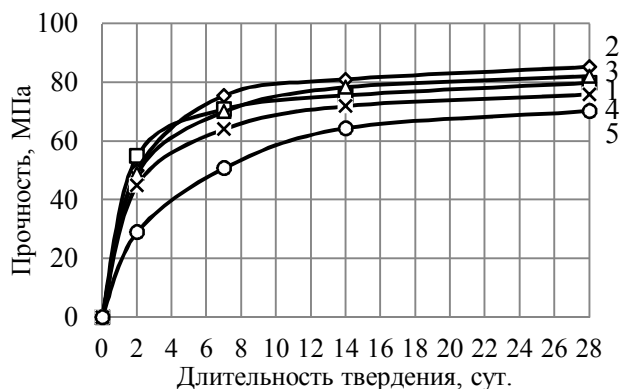


Рис. 3. Кинетика набора прочности цементов при сжатии, модифицированных отходами производства минеральной ваты в процентах от массы цемента:

1 – 0 %, 2 – 5 %; 3 – 10 %, 4 – 20 %, 5 – 40 %

7. Ерофеев В.Т., Родин А.И., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Смирнов В.Ф., Светлов Д.А. Физико-механические свойства и биостойкость цементов, модифицированных серноокислым натрием, фтористым натрием и полигексаметиленгуанидин стеаратом // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 7. Тула : Изд-во ТулГУ, 2012. Ч. 2. С. 292–309.

8. Родин А.И. Разработка биоцидных цементов и композитов на их основе : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саранск, 2013. 24 с.

9. Родин А.И., Ерофеев В.Т., Пустовгар А.П., Еремин А.В., Пашкевич С.А., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Адамцевич А.О. Кинетика набора прочности биоцидных цементов // Вестник МГСУ. 2014. № 12. С. 88–97.

10. Родин А.И., Карпушин С.Н., Боциев Б.В., Балатханова Э.М., Смирнов В.Ф., Ерофеев В.Т. Повышение биостойкости цементных композитов с помощью препарата «Ультрадез-Био» // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-9. С. 1946–1950.

11. Рояк С.М., Рояк Г.С. Специальные цементы : учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1983. 279 с.

12. Тейлор Х. Химия цемента: пер. с англ. М.: Мир, 1996. 560 с.

13. Теория цемента. Под ред. А. А. Пашенко. К.: Будівельник, 1991. 168 с.

14. Jansen D., Goetz-Neunhoeffler F., Lothenbach B., Neubauer J. The early hydration of Ordinary Portland Cement (OPC): An approach comparing measured heat flow with calculated heat flow from QXRD // Cement and Concrete Research. 2012. Vol. 42. Pp. 134–138.

15. Erofeev V., Kalashnikov V., Karpushin S., Rodin A., Smirnov V., Smirnova O., Moroz M., Rimshin V., Tretiakov I., Matvievskiy A. Physical and mechanical properties of the cement stone based on biocidal Portland cement with active mineral additive // Solid State Phenomena. 2016. Vol. 871. Pp. 28–32.

16. Erofeev V., Korotaev S., Bulgakov A., Tretyakov T., Rodin A. Getting Fired Material with Vitreous Binder Using Frame Technology // Procedia Engineering. 2016. Vol. 164. Pp. 166–171.

Информация об авторах

Ерофеев Владимир Трофимович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой строительных материалов и технологий. E-mail: AL_Rodin@mail.ru. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва. Россия, 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68.

Родин Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов и технологий. E-mail: AL_Rodin@mail.ru. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва. Россия, 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68.

Бочкин Виктор Семенович, кандидат технических наук, генеральный директор. E-mail: sovelitnew@mail.ru. ООО «Комбинат теплоизоляционных изделий». Россия, 430006, Республика Мордовия, г. Саранск, Северо-восточное шоссе, 3.

Якунин Владислав Васильевич, аспирант кафедры строительных материалов и технологий. E-mail: vladisjakunin@yandex.ru. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва. Россия, 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68.

Чегодайкин Алексей Михайлович, магистрант кафедры строительных материалов и технологий. E-mail: chegoday1@mail.ru. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва. Россия, 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68.

Казначеев Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов и технологий. E-mail: kaznacheevsv@gambler.ru. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва. Россия, 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68.

Поступила в июле 2018 г.

© Ерофеев В.Т., Родин А.И., Бочкин В.С., Якунин В.В., Чегодайкин А.М., Казначеев С.В., 2018

^{1,}Erofeev V.T., ¹Rodin A.I., ²Bochkin V.S., ¹Jakunin V.V., ¹Chegodajkin A.M., ¹Kaznacheev S.V.*

*¹National Research Mordovia State University.
Russia, 430005, Saransk, st. Bolshevistskaya, 68*

*²LLC "Plant of thermal insulation products"
Russia, 430006, Saransk, Severo-vostochnoye highway, 3*

**E-mail: AL_Rodin@mail.ru*

PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CEMENT MODIFIED WITH MINERAL WOOL WASTE

Abstract. *The policy of waste management such as use of raw materials and waste minimization are priority directions for a state. A wide range of raw materials is concentrated in the man-made waste. One type of solid industrial waste, the waste of mineral wool production, so-called "korolki", constitutes from 15 % to 30 % of end products. The chemical and phase composition of this type allows using it as an active mineral additive in the production of Portland cement. The article is devoted to the influence of mineral wool production waste on the processes of hydration hardening of cement, technological properties of cement pastes and solidified composites. In the context of ensuring the production of materials with regulatory and improved characteristics, the possibility of using mineral wool wastes as an active mineral additive for cement is proved.*

Keywords: *Portland cement, physical and mechanical properties, production waste of mineral wool, cement composites, active mineral additive.*

REFERENCES

1. Vdovina E.V. Production of ceramic bricks based on beidelite clay and mineral wool waste: dis. ... Cand. tech. sciences. Samara, 2011. 166 p.
2. Palgunov P.P., Sumarokov M.V. Disposal of industrial waste. M.: Build-up. 1990, 352 p.

3. Nefedova I.N., Krasheninnikova N.S., Garber E.G. Waste from the production of mineral wool as man-made raw materials. Chemistry and chemical technology of inorganic substances and materials: materials of the Third Scientific. Conf. Tomsk: Tomsk Polytechnic Publishing House. University, 2011, pp. 33–34.

4. Bazhenov Yu.M. Concrete technology: studies. allowance. M.: High School, 1987, 415 p.

5. Erofeev V.T., Bazhenov Yu.M., Balathanova E.M., Mitina E.A., Emelyanov D.V., Rodin A.I., Karpushin S.N. Obtaining and physico-mechanical properties of cement components-Zites using fillers and mixing water from the Chechen Republic's deposits. Vestnik MGSU, 2014, no. 12, pp. 141–151.

6. Erofeev V.T., Kalashnikov V.I., Smirnov V.F., Karpushin S.N., Rodin A.I., Krasnoglazov AM, Chelmakin A.Yu. Resistance of cement composites on biocidal portland cement with active mineral additive under the influence of the model environment of bacteria. Industrial and civil construction, 2016, no. 1, pp. 11–17.

7. Erofeev V.T., Rodin A.I., Bogatov A.D., Kaznacheev S.V., Smirnov V.F., Svetlov D.A. Physico-mechanical properties and bio-resistance of cements modified with sulfuric acid cheese, sodium fluoride and polyhexamethylene guanidine stearate // Izves-tiya TSU. Technical science. Issue 7, Tula: Publishing House of the TSU, 2012, Part 2, pp. 292–309.

8. Rodin A.I. Development of biocidal cement and composites based on them: author. dis. ... Cand. tech. sciences. Saransk, 2013, 24 p.

9. Rodin A.I., Erofeev V.T., Pustovgar A.P., Er-emin A.V., Pashkevich S.A., Bogatov A.D., Kaznacheev S.V., Adamtsevich A.O. Kine-tika set of

strength of biocidal cements. Vestnik MGSU, 2014, no. 12, pp. 88–97.

10. Rodin A.I., Karpushin S.N., Botsiev B.V., Balatkhanova E.M., Smirnov V.F., Erofeev V.T. Increasing the biostability of cement composites with the help of Ul-tradez-Bio preparation. Fundamental research, 2014, no. 9-9, pp. 1946–1950.

11. Royak S.M., Royak G.S. Special Cements: studies. manual for universities. 2nd ed., Pererab. and add. M.: Stroyizdat, 1983, 279 p.

12. Taylor H. Cement Chemistry: Per. from English Moscow: Mir, 1996, 560 p.

13. The theory of cement. Ed. A.A. Pa-shchenko. To.: Budivel'nik, 1991. 168 p.14. Jansen D., Goetz-Neunhoeffler F., Lothenbach B., Neubauer J. The early hydration of Ordinary Portland Cement (OPC): An approach comparing measured heat flow with calculated heat flow from QXRD. Cement and Concrete Research, 2012, vol. 42, pp. 134–138.

15. Erofeev V., Kalashnikov V., Karpushin S., Rodin A., Smirnov V., Smirnova O., Moroz M., Rimshin V., Tretiakov I., Matvievskiy A. Physical and mechanical properties of the cement stone based on biocidal Portland cement with active mineral additive. Solid State Phenomena, 2016, vol. 871, pp. 28–32.

16. Erofeev V., Korotaev S., Bulgakov A., Tretiakov T., Rodin A. Getting Fired Material with Vitreous Binder Using Frame Technology. Procedia Engineering, 2016, vol. 164, pp. 166–171.

Information about the authors

Erofeev, Vladimir T. DSc, Professor. E-mail: AL_Rodin@mail.ru. National Research Mordovia State University. Russia, 430005, Saransk, st. Bolshevistskaya, 68.

Rodin, Aleksandr I. PhD, Associate Professor. E-mail: AL_Rodin@mail.ru. National Research Mordovia State University. Russia, 430005, Saransk, st. Bolshevistskaya, 68.

Bochkin, Viktor S. PhD. E-mail: sovelitnew@mail.ru. LLC "Plant of thermal insulation products". Russia, 430006, Saransk, Severo-vostochnoye highway, 3.

Jakunin, Vladislav V. Postgraduate student. E-mail: vladisjakunin@yandex.ru. National Research Mordovia State University. Russia, 430005, Saransk, st. Bolshevistskaya, 68.

Chegodajkin, Aleksej M. Master student. E-mail: chegoday1@mail.ru. National Research Mordovia State University. Russia, 430005, Saransk, st. Bolshevistskaya, 68.

Kaznacheev, Sergey V. PhD, Assistant professor. E-mail: kaznacheevsv@rambler.ru. National Research Mordovia State University. Russia, 430005, Saransk, Bolshevistskaya St., 68.

Received in July 2018

Для цитирования:

Ерофеев В.Т., Родин А.И., Бочкин В.С., Якунин В.В., Чегодайкин А.М., Казначеев С.В. Физико-механические свойства цементов, модифицированных отходами производства минеральной ваты // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 10–15. DOI: 10.12737/article_5bd95a707f00e2.65839546

For citation:

Erofeev V.T., Rodin A.I., Bochkin V.S., Jakunin V.V., Chegodajkin A.M., Kaznacheev S.V. Physico-mechanical characteristics of cement modified with mineral wool waste. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 10–15. DOI: 10.12737/article_5bd95a707f00e2.65839546