

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАКАОЛИНА В СОСТАВЕ ЖАРСТОЙКОГО БЕТОНА

В России жаростойкие бетоны используются для повышения долговечности сооружения и индустриализации строительства различных тепловых агрегатов. Варьирование составляющих таких бетонов позволит расширить номенклатуру конструктивных и технологических решений.

Впервые жаростойкий бетон был получен в сороковых годах прошлого века. В качестве вяжущего применялся портландцемент с различными добавками, а роль заполнителей играли искусственные материалы, обожженные и необожженные горные породы, а также вторичные продукты производства, стойкие в условиях воздействия высоких температур - шамот, огнеупорный керамзит и аглопорит. Следует отметить, что основными видами вяжущих, применяемых в отечественной и зарубежной практике для жаростойких и огнеупорных бетонов, являлись глиноземистые и высокоглиноземистые цементы. При этом их стоимость была довольно высока и вяжущее имело достаточно высокую водопотребность. Впоследствии были разработаны бетоны на других вяжущих, а в качестве заполнителей начали применяться шпинели, карбид кремния, корунд, некоторые виды шлаков черной и цветной металлургии.

В настоящее время под жаростойким понимают специальный бетон, способный не изменять требуемые физико-механические свойства при длительном воздействии высокой температуры (свыше 200°C) и эксплуатируемый до 1800°C. Бетон на жароупорном вяжущем отличается от бетона на портландцементе преимущественно структурой цементного камня, в которой преобладают низкоосновные гидраты и гидросиликаты, которые имеют более высокую прочность и долговечность, а также видом пор и пониженной концентрацией гидроксида кальция.

В работе представлены наиболее востребованные добавки для жаростойкого бетона, отражен принцип их действия и основные достоинства и недостатки. Проведен анализ различных исследований в области получения жаростойкого бетона и рассмотрены виды тонкомолотых добавок, в том числе метакаолин. Представлены возможные достоинства и недостатки применения метакаолина в составе жаростойкого бетона.

Отмечено, что поскольку метакаолин является дисперсной добавкой его необходимо вводить совместно с суперпластификатором, для регулирования воды затворения и формирования более плотной структуры цементного камня. Кроме того, необходимо строго контролировать дозировку метакаолина, для направленного фазообразования бетона и более полного связывания свободной окиси кальция.

Ключевые слова: жаростойкий бетон, метакаолин, суперпластификатор, вяжущее.

STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING METAKAOLIN IN THE COMPOSITION OF HEAT-RESISTANT CONCRETE

In Russia, heat-resistant concretes are used to increase the durability of structures and industrialize the construction of various thermal aggregates. Varying the components of such concretes will expand the range of design and technological solutions.

For the first time, heat-resistant concrete was obtained in the forties of the last century. Portland cement with various additives was used as a binder, and artificial materials, burnt and unburned rocks, as well as secondary products of production that are resistant to high temperatures - chamotte, refractory expanded clay and sinterite played the role of fillers. It should be noted that the main types of binders used in domestic and foreign practice for heat-resistant and exhaust-resistant concretes were alumina and high-alumina cements. At the same time, their cost was quite high and the binder had a fairly high water demand. Subsequently, concretes based on other binders were developed, and spinels, silicon carbide, corundum, and some types of ferrous and non-ferrous metallurgy slags began to be used as fillers.

Currently, heat-resistant concrete is understood to be a special concrete capable of not changing the required physical and mechanical properties under prolonged exposure to high temperatures (over 200 ° C) and operated up to 1800 ° C. Concrete on a heat-resistant binder differs from concrete on portland cement mainly by the structure of cement stone, in which low-base hydrates and hydrosilicates, which have higher strength and durability, as well as the type of pores and a reduced concentration of calcium hydroxide, are present.

The paper presents the most popular additives for heat-resistant concrete, reflects the principle of their action and the main advantages and disadvantages. The analysis of various studies in the field of heat-resistant concrete production was carried out and the types of finely ground additives, including methacaolin, were considered. The possible advantages and disadvantages of using metacaolin in the composition of heat-resistant concrete are presented.

Since metakaolin is a dispersed additive, it must be administered together with a superplasticizer to regulate the mixing water and form a denser structure of the cement stone. In addition, it is necessary to strictly control the dosage of metacaolin, for the directed phase formation of concrete and more complete binding of free calcium oxide.

Keywords: heat-resistant concrete, metacaolin, superplasticizer, binder.

В настоящее время значительная часть тепловых агрегатов выполняется с применением жаростойкого бетона. Жаростойкий бетон — это специальный бетон, способный не изменять свои физико-механические свойства при длительном воздействии высокой температуры [1]. В зависимости от вяжущего вещества, принято различать жаростойкие бетоны на портландцементе, шлакопортландцементе, глиноземистом и высокоглиноземистом цементе, шлакощелочные, на жидком стекле и фосфатные [1, 2].

Необходимо отметить, что исследованиями в области жаростойких бетонов в нашей стране занимались многие ученые, такие как

проф. Некрасов К.Д. и его школа [1-4], Кузнецова Т.В. [5], Арбузова Т.Б. [6], Калашников В.И. [7], Новопашин А.А. [8], Абызов А.Н. [9], Хвастунов В.Л., Абызов В.А. [10,11], Пивинский Ю.Е., Тотурбиев Б.Д. [12], Горлов Ю.П., Будников П.П. [13], Копейкин В.А., Хорошавин Л.Б., Хаджишалапов Г.Н., Сычев М.М. [14], Судакас Л.Г. [15], Чумаченко Н.Г. [16] и многие другие [17-27].

Изготовление жаростойкого бетона на цементном вяжущем чаще всего применяют для строительных конструкций, подвергающихся длительному воздействию не высокой температуры, до 200° С. Под воздействием более высоких температур в цементном

камне происходит обезвоживание кристаллогидратов и разложение гидроксида кальция. Оксид кальция, который образуется в результате разложения, реагирует с водой и увеличивается в объеме, что приводит к появлению трещин в бетоне [2]. Для снижения вероятности трещинообразования и расширения номенклатуры применения огнеупорных композитов с повышенными эксплуатационными характеристиками в жаростойкий бетон на портландцементе вводят тонко измельченные добавки, содержащие активный кремнезем, обладающий пуццолоановой активностью.

В настоящее время существует ряд распространенных тонкомолотых добавок, вводимых в состав жаростойкого бетона, они могут быть промышленного изготовления или получены при измельчении соответствующих материалов до удельной поверхности не менее 2500 см²/г, такие как: шамотная, муллитокорундовая, корундовая, керамзитовая и многие другие [3,11,17,18]. Вид добавки и ее дозировки будут влиять на температурный диапазон применения бетона.

Наиболее распространенными добавками модификаторами в жаростойких бетонах являются шамот и микрокремнезем. Тонкомолотая шамотная добавка вводится в вяжущее в значительном количестве (до 30%) и имеет высокую водопотребность, в связи с чем прочность таких бетонов достаточно низкая, около 30 МПа. Использование в качестве добавки микрокремнезема или метаксаолина позволит в большей степени связать СаО, однако такие добавки могут повысить водоцементное отношение, соответственно их необходимо вводить в строгом количестве и совместно с суперпластификатором [10,25,27].

Целью настоящей работы является изучение возможности применения метаксаолина в качестве тонкомолотой жароупорной добавки для бетонов на основе портландцемента.

Метаксаолин является аморфизированным силикатом алюминия, полученным в результате реакции дегидратации каолина. Введение добавки метаксаолина ускоряет гидратацию цементного камня, повышает прочность и долговечность бетона, при этом добавка несколько повышает водопотребность смеси, поэтому необходимо ее использовать совместно с суперпластификатором.

Исследований посвященных возможности использования в составе жаростойких бетонов в качестве добавки-модификатора метаксаолина не много. Так, например ученые научного института термоизоляции г.Вильнюс провели исследование влияния метакса-

олина на процессы гидратации и фазообразования композиции с глиноземистым цементом на шамотном заполнителе. Согласно их исследованию, метаксаолин способствовал ускорению гидратации и твердению камня, после обжига при 12000С избыток Са кристаллизовался в Са2, кроме того увеличилась прочность при сжатии бетона до 27% [27].

Введение метаксаолина в жаростойкие бетоны на основе портландцемента практически не проводились и представляют собой интерес. Так введение метаксаолина позволит связать свободный СаО, образовавшейся при гидратации цемента. Жаростойкие бетоны на основе портландцемента обладают некоторыми преимуществами. Использование вяжущего низкой водопотребности в бетонах изменяет характер структуры бетона, уменьшается количество капиллярных пор и увеличивается количество гелиевых пор. Таким образом, жаростойкий бетон на жароупорном вяжущем отличается от бетона на портландцементе тем, что в структуре цементного камня преобладают низкоосновные гидраты, которые имеют более высокую прочность.

Однако, их недостатком является снижение прочности при нагреве, которое достигает 60...70 % при воздействии высоких температур. Основные причины снижения прочности связаны с дегидратацией и разложением высокоосновных гидросиликатов и алюминатов кальция, а также линейные деформации в результате температурного расширения заполнителя. Для снижения потери прочности жаростойкого бетона используют в качестве тонкомолотой добавки и заполнителей материалы с близкими показателями термической деформации, кроме того можно увеличить их содержание в бетоне или модифицировать структуру бетона химическими добавками. Чтобы достичь наилучшего результата лучше использовать данные мероприятия в комплексе. Содержание дисперсных добавок подбирают индивидуально, поскольку увеличение из концентрации может привести к повышению воды затворения и снижению прочности бетона [11,12].

Жаростойкие бетоны на основе портландцемента имеют огнеупорность до 1320°С, температуру начала деформации под нагрузкой 0,2 МПа при 1190°С и широко применяются для футеровки различных тепловых агрегатов с температурой службы 1000-1100°С. Термическая стойкость бетонов на портландцементе, согласно СН 156-79 «Инструкция по технологии приготовления

жаростойких бетонов», может составлять в зависимости от марки бетона, вида заполнителей и тонкомолотых добавок от 5 до 20 циклов водных теплосмен. Максимальные результаты по термической стойкости бетонов на портландцементе возможно получить при использовании тонкомолотых добавок, в том числе метаксаолина [11].

При исследовании возможности применения метаксаолина в производстве жаростойкого вяжущего на портландцементе необходимо также отметить, что данное вяжущее обладает более низкой водопотребностью, по сравнению с глиноземистым. Ранее было проведено много исследований, в которых доказано, что ведение метаксаолина в больших количествах (более 5%) приводит к повышению В/Ц отношения и ускорению гидратации и твердению цементного камня. Кроме того, метаксаолин влияет на фазообразование, связывая окись кальция в различные гидратные соединения, в больших дозировках преимущественно высокоосновные. При этом ограничение дозровок метаксао-

лина или совместное его введение с кислыми добавками (типа микрокремнезема) позволит направленно формировать преимущественно низкоосновные гидросиликаты, обладающие более высокой прочностью и долговечностью.

Заключение

Рассмотренные выше жаростойкие бетоны на основе портландцемента актуальны поскольку позволяют снизить стоимость и расширить номенклатуру выпускаемой продукции. Выбор различного рода состава и тонкомолотых добавок в жаростойкие бетоны должен прежде всего быть обусловлен экономическими характеристиками и эффективностью. Исследований в области применения в жаростойких бетонах в качестве добавки метаксаолина не много и представляет собой интерес. Это связано с тем, что метаксаолин является алюмосиликатной добавкой и обладает высокой пуццолановой активностью, ускоряет гидратацию, повышает прочность бетона и влияет на его фазообразование.

Литература

1. Некрасов, К.Д. Жароупорный бетон [Текст] / К.Д. Некрасов. – Москва: Промстройиздат, 1957. – 284 с.
2. Некрасов, К.Д. Жаростойкий бетон на портландцементе [Текст] / К.Д. Некрасов, А.П. Тарасова. – Москва: Стройиздат, 1969. – 192 с.
3. Некрасов, К.Д. Исследование отвальных доменных шлаков как заполнителей жароупорного бетона [Текст] / К.Д. Некрасов, Э.Г. Оямаа. – Москва: ЦНИИПС, вып. 19, 1955. – 53 с.
4. Некрасов, К.Д. Специальные эффективные виды бетона (жаростойкие бетоны и самоупроченный железобетон) [Текст] / К.Д. Некрасов, В.В. Михайлов // Повышение эффективности и качества бетона и железобетона: VIII Всесоюз. конф. по бетону и железобетону. Тез. докл. – Москва: Стройиздат, 1977. – С. 139–145.
5. Кузнецова, Т.В. Сухие смеси для жаростойкого бетона [Текст] / Т.В. Кузнецова // Сухие строительные смеси. – 2016. – № 2. – С. 22–25.
6. Арбузова, Т.Б. Строительные материалы на основе шламовых отходов [Текст]: учебное пособие / Т.Б. Арбузова. – Самара: Самарская государственная архитектурно-строительная академия, 1996. – 39 с.
7. Калашников, В.И. Новый жаростойкий материал для футеровки промышленных печей [Текст] / В.И. Калашников, В.Л. Хвастунов, Р.В. Тарасов, Д.В. Калашников // Строительные материалы. – 2003. – № 11. – С. 40–42.
8. Новопащин, А.А. Пути использования глиноземсодержащих шламов в производстве строительных материалов [Текст] / А.А. Новопащин, Т.Б. Арбузова // Экологическая технология. Переработка промышленных отходов в строительные материалы: сб. науч. трудов. – Свердловск: УПИ, 1984. – С. 19–25.
9. Абызов, А.Н. Жаростойкие и огнеупорные бетоны на основе вяжущих и заполнителей из шлаков ферросплавного производства [Текст] / А.Н. Абызов, В.М. Рытвин, В.А. Абызов, В.А. Перепелицын, В.Г. Григорьев // Строительные материалы. – 2012. – № 11 (695). – С. 67–69.
10. Абызов, В.А. Выбор рациональных областей применения промышленных отходов в технологии жаростойкого бетона [Текст] / В.А. Абызов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура», выпуск 7. – 2008. – № 25 (125). – С. 37–39.

11. Абызов, В.А. Жаростойкие бетоны на глиноземистых цементах с тонкомолотыми добавками промышленных отходов [Текст] / В.А. Абызов, А.К. Абрамов, В.М. Рытвин // Огнеупоры и техническая керамика. – 2010. – № 7–8. – С. 43–47.
12. Тотурбиев, Б.Д. Жаростойкое композитное вяжущее [Текст] / Б.Д. Тотурбиев, А.А. Порсуков // Бетон и железобетон. – 2006. – № 3 (540). – С. 12–16.
13. Будников, П.П. Химия и технология строительных материалов и керамики [Текст] / П.П. Будников. – Москва : Стройиздат, 1965. – 607 с.
14. Сычев, М.М. Защитные покрытия на основе вяжущих веществ [Текст] / М.М. Сычев // Защитные высокотемпературные покрытия. Труды 5-го Всесоюзного совещания по жаростойким покрытиям. – Л.: Изд-во «Наука», 1972. – С. 278–284.
15. Судакас, Л.Г. Фосфатные вяжущие системы [Текст] / Л.Г. Судакас. – Санкт-Петербург : РИА «Квинтет», 2008. – 260 с.
16. Чумаченко, Н.Г. Обоснование причин, влияющих на снижение прочности цементного камня на основе глиноземистых цементов при термообработке [Текст] / Н.Г. Чумаченко, В.В. Тюрников, Д.В. Кириллов // Известия вузов. Строительство. – 2004. – № 7. – С. 38–42.
17. Нефедьев, А.П. Смешанное вяжущее на основе глиноземистого цемента и метакаолина [Текст] / А.П. Нефедьев, Т.В. Кузнецова // Сухие строительные смеси. – 2014. – № 2. – С. 28–30.
18. Акулова, М.В. Влияние добавки жидкого стекла на свойства бетона [Текст] / М.В. Акулова, Е.А. Степанова, А.Н. Петров // Символ науки. – 2016. – № 11–3. – С. 27–28.
19. Ахтямов, Р.Р. Жаростойкий бетон на шлакощелочном вяжущем и заполнителях из шамота и высокоглиноземистых шлаков алюминотермического производства [Текст] / Р.Р. Ахтямов, Б.Я. Трофимов // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 1–2. – С. 45–47.
20. Ахтямов, Р.Р. Организация производства элементов блочной футеровки вагонок из жаростойкого бетона на шлакощелочном вяжущем [Текст] / Р.Р. Ахтямов, Б.Я. Трофимов // Строительные материалы. – 2011. – № 2 (674). – С. 21–23.
21. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны [Текст] / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – Москва : Изд-во Ассоц. строительных вузов, 2006. – 368 с.
22. Борис, Р. Воздействие температуры выдержки на свойства различных типов жаростойкого бетона [Текст] / Р. Борис, В. Антонович, Р. Стонис, А. Волочко, И. Белов // Новые огнеупоры. – 2013. – № 10. – С. 26–30.
23. Бутт, Ю.М. Твердение вяжущих при повышенных температурах [Текст] / Ю.М. Бутт, Л.Н. Рашкович. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1965. – 224 с.
24. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества: (технология и свойства). Учебник для вузов [Текст] / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1979. – 476 с.
25. Ducman, V. The potential use of steel slag in refractory concrete / V. Ducman, A. Mladenovic // Materials Characterization. 2011, №7, pp. 716–723.
26. Jong-Pil Won Eco-friendly fireproof high-strength polymer cementitious composites / Jong-Pil Won, Hee-Byoung Kang, Su-Jin Lee, Joo-Won Kang // Construction and Building Materials, 2012, vol. 30, pp. 406–412. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.034
27. Стонис Р., Пундиене И., Антонович В., Клигис М., Спудулис Е. Исследование эффекта замены микрокремнезема в составе жаростойкого бетона добавкой на основе метакаолина [Текст] // Новые огнеупоры. – 2013. – № 6. – С. 43–48. DOI:10.17073/1683-4518-2013-6-43-48.

References

1. Nekrasov, K.D. Heat-resistant concrete [Text] / K.D. Nekrasov. – Moscow: Promstroyizdat, 1957. – 284 p.
2. Nekrasov, K.D. Heat-resistant concrete on Portland cement [Text] / K.D. Nekrasov, A.P. Tarasova. – Moscow : Stroyizdat, 1969. – 192 p.
3. Nekrasov, K.D. Investigation of dump blast furnace slag as aggregates of heat-resistant concrete [Text] / K.D. Nekrasov, E.G. Oyamaa. – Moscow : TSNIIPS, issue 19, 1955. – 53 p.
4. Nekrasov, K.D. Special effective types of concrete (heat-resistant concretes and self-

- stressed reinforced concrete) [Text] / K.D. Nekrasov, V.V. Mikhailov // Improving the efficiency and quality of concrete and reinforced concrete: VIII All-Union. conf. on concrete and reinforced concrete. Tez. dokl. – Moscow : Stroyizdat, 1977. – P. 139-145.
5. Kuznetsova, T.V. Dry mixes for heat-resistant concrete [Text] / T.V. Kuznetsova // Dry building mixes. – 2016. – No. 2. – P. 22-25.
6. Arbuzova, T.B. Building materials based on sludge waste [Text]: textbook / T.B. Arbuzova. – Samara : Samara State Academy of Architecture and Construction, 1996. – 39 p.
7. Kalashnikov, V.I. A new heat-resistant material for lining industrial furnaces [Text] / V.I. Kalashnikov, V.L. Khvastunov, R.V. Tarasov, D.V. Kalashnikov // Building materials. – 2003. – No. 11. – P.40–42.
8. Novopashin, A.A. Ways of using alumina-containing slurries in the production of building materials [Text] / A.A. Novopashin, T.B. Arbuzova // Environmental technology. Processing of industrial waste into building materials: collection of scientific papers. Sverdlovsk : UPI, 1984. – P. 19-25.
9. Abyzov, A.N. Heat-resistant and refractory concretes based on binders and fillers from ferroalloy slag [Text] / A.N. Abyzov, V.M. Rytvin, V.A. Abyzov, V.A. Perepelitsyn, V.G. Grigoriev // Building materials. – 2012. – № 11 (695). – P. 67-69.
10. Abyzov, V.A. The choice of rational areas of application of industrial waste in heat-resistant concrete technology [Text] / V.A. Abyzov // Bulletin of SUSU. The series “Construction and Architecture”, issue 7. – 2008. – № 25 (125). – P. 37-39.
11. Abyzov, V.A. Heat-resistant concretes on alumina cements with finely ground additives of industrial waste [Text] / V.A. Abyzov, A.K. Abramov, V.M. Rytvin // Refractories and technical ceramics. - 2010. – No. 7-8. – P. 43-47.
12. Toturbiev, B.D. Heat-resistant composite binder [Text] / B.D. Toturbiev, A.A. Porsukov // Concrete and reinforced concrete. – 2006. – № 3 (540). – P. 12-16.
13. Budnikov, P.P. Chemistry and technology of building materials and ceramics [Text] / P.P. Budnikov. – Moscow : Stroyizdat, 1965. – 607 p.
14. Sychev, M.M. Protective coatings based on binders [Text] / M.M. Sychev // Protective high-temperature coatings. Proceedings of the 5th All-Union Meeting on heat-resistant coatings. - L.: Nauka Publishing House, 1972. – P. 278-284.
15. Sudakas, L.G. Phosphate binding systems [Text] / L.G. Sudakas. – St. Petersburg : RIA “Quintet”, 2008. – 260 p.
16. Chumachenko, N.G. Substantiation of the reasons influencing the decrease in the strength of cement stone based on alumina cements during heat treatment [Text] / N.G. Chumachenko, V.V. Tyurnikov, D.V. Kirillov // Izvestiya vuzov. Construction. – 2004. – No. 7. – P. 38-42.
17. Nefediev, A.P. Mixed binder based on alumina cement and methacaulin [Text] / A.P. Nefediev, T.V. Kuznetsova // Dry building mixes. - 2014. – No. 2. – P. 28-30.
18. Akulova, M.V. The influence of liquid glass additives on the properties of concrete [Text] / M.V. Akulova, E.A. Stepanova, A.N. Petrov // Symbol of Science. - 2016. – No. 11-3. – P. 27-28.
19. Akhtyamov, R.R. Heat-resistant concrete on slag-alkali binder and fillers from chamotte and high-alumina slags of aluminothermic production [Text] / R.R. Akhtyamov, B.Ya. Trofimov // Refractories and technical ceramics. - 2014. – No. 1-2. – P. 45-47.
20. Akhtyamov, R.R. Organization of production of elements of block lining of trolleys made of heat-resistant concrete on a slag-alkali binder [Text] / R.R. Akhtyamov, B.Ya. Trofimov // Building materials. – 2011. – № 2 (674). – P. 21-23.
21. Bazhenov, Yu.M. Modified high-quality concretes [Text] / Yu.M. Bazhenov, V.S. Demyanova, V.I. Kalashnikov. – Moscow : Publishing House of the Assoc. construction universities, 2006. – 368 p.
22. Boris, R. The effect of exposure temperature on the properties of various types of heat-resistant concrete [Text] / R. Boris, V. Antonovich, R. Stonis, A. Volochko, I. Belov // New refractories. - 2013. – No. 10. – P. 26-30.
23. Butt, Y.M. Hardening of binders at elevated temperatures [Text] / Y.M. Butt, L.N. Rashkovich. – 2nd ed., reprint. and additional – Moscow : Stroyizdat, 1965. – 224 p.
24. Volzhensky, A.V. Mineral binders: (technology and properties). Textbook for universities [Text] / A.V. Volzhensky, Yu.S. Burov, V.S. Kolokolnikov. – 3rd ed., reprint. and additional – Moscow : Stroyizdat, 1979. – 476 p.

25. Ducman, V. The potential use of steel slag in refractory concrete / V. Ducman, A. Mladenovic // *Materials Characterization*. 2011, №7, P. 716–723.
26. Jong-Pil Won Eco-friendly fireproof high-strength polymer cementitious composites / Jong-Pil Won, Hee-Byoung Kang, Su-Jin Lee, Joo-Won Kang // *Construction and Building Materials*, 2012, vol. 30, P. 406-412. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.034
27. Stonis R., Pundiene I., Antonovich V., Kligis M., Spudulis E. Investigation of the effect of replacing silica in the composition of heat-resistant concrete with an additive based on methacolin [Text] // *New refractories*. – 2013. – No. 6. –P. 43-48. DOI:10.17073/1683-4518-2013-6-43-48.

Мясникова А.А.,

к.т.н., доцент кафедры Архитектура, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: aakirsanova@susu.ru

Myasnikova A.A.,

Ph.D., as. professor of the Department of Architecture, South Urals State University, Chelyabinsk, Russia. E-mail: aakirsanova@susu.ru

Поступила в редакцию 01.04.2024