

Для цитирования: Гаджиев А.М., Курбанов Р.М., Хаджишалапов Г.Н., Хежев Т.А. Влияние зернового состава заполнителя на свойства жаростойкого базальтового бетона. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (3):146-155. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-146-155

For citation: Gadzhiev A.M., Kurbanov R.M., Khadzhashalapov G.N., Hezhev T.A. The influence of the filler grain composition on the properties of the heat-resistant basaltic concrete. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (3):146-155. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-146-155

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.34

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-146-155

ВЛИЯНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ЖАРОСТОЙКОГО БАЗАЛЬТОВОГО БЕТОНА

Гаджиев А.М.³, Курбанов Р.М.⁴, Хаджишалапов Г.Н.¹, Хежев Т.А.²

^{1,3,4}Дагестанский государственный технический университет,

367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия,

²Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,

²360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, Россия,

¹e-mail:dekanat_asf@mail.ru, ²e-mail: hejev_tolya@mail.ru,

³e-mail:5542334f@mail.ru, ⁴e-mail: kurbanov2020@mail.ru

Резюме. Цель. Оптимально подобранный гранулометрический состав заполнителя обеспечивает получение бетона с улучшенными физико-механическими характеристиками при минимальном расходе вяжущего. Свойства жаростойкого бетона в большой степени зависят от вида и соотношения компонентов. С учетом этого, целью исследования является определение оптимального зернового состава жаростойкого бетона. **Метод.** В ходе исследования применялись методы оптимизации свойств жаростойкого базальтового бетона на композиционном вяжущем с механохимической активацией зернового состава заполнителя. Для этой цели был составлен симплексно-центроидный план эксперимента. Композиционное вяжущее подвергалось механохимической активации. Образцы изготавливали методом вибропрессования из бетонной смеси с осадкой конуса 2 см. **Результат.** Доказано, что наиболее важным переменным фактором, регулируя который можно варьировать свойствами бетона является зерновой состав жаростойкого бетона. Разработаны составы жаростойкого базальтового бетона на активированном композиционном вяжущем с максимальной температурой применения 700 °С. Определено влияние зернового состава базальтового заполнителя на свойства базальтового бетона с применением методов математического планирования эксперимента. Получены уравнения регрессии предела прочности на сжатие и изгиб базальтового бетона при нагреве до температуры 700 °С. **Вывод.** Гранулометрический состав жаростойкого базальтового бетона на основе активированного вяжущего оптимизирован по основным физико – техническим свойствам. Проектирование оптимальной гранулометрии состава жаростойких бетонов показало, что по мере увеличения в составе заполнителя крупной фракции (частицы более 0,63 мм) предел прочности при сжатии и изгибе жаростойкого базальтового бетона при нагреве до температуры 700 °С повышается. Это происходит за счет более компактного расположения зерен песка.

Ключевые слова: активированное композиционное вяжущее, жаростойкий базальтовый бетон, базальтовый заполнитель, зерновой состав, планирование эксперимента

TECHNICAL SCIENCE

BUILDING AND ARCHITECTURE

THE INFLUENCE OF THE FILLER GRAIN COMPOSITION ON THE PROPERTIES OF THE HEAT-RESISTANT BASALTIC CONCRETE

Abdulla M. Gadzhiev³, Ramazan M. Kurbanov⁴, Khaji N Khadzhishalapov¹, Tolya A. Hezhev²

^{1,3,4}Daghestan State Technical University,

^{1,3,4}70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

²H.M. Berbekov Kabardino-Balkarian State University,

173 Chernyshevsky Str., Nalchik 360004, Russia,

¹e-mail:dekanat_asf@mail.ru, ²e-mail: hejev_tolya@mail.ru,

³e-mail:5542334f@mail.ru, ⁴e-mail: kurbanov2020@mail.ru

Abstract Objectives. *The optimal granulometric composition of filler compound ensures the production of concrete having improved physical and mechanical characteristics, as well as minimal binder consumption. The properties of heat-resistant concrete largely depend on the type and the ratio of its components. Taking this into account, the aim of the study is to determine the optimal grain composition of heat-resistant concrete. **Methods.** Methods for optimising the properties of heat-resistant basaltic concrete with a composite binder and mechanochemical activation of the filler grains were used during the course of the research. A simplex-centroid experiment design is applied for this purpose. The composite binder was subjected to mechanochemical activation. Samples were made by vibration-pressing from a concrete mix with a cone draught of 2 cm. **Results.** The grain composition of heat-resistant concrete is proved to be the most important variable factor, regulating which the properties of concrete can be varied. The compositions of heat-resistant basaltic concrete with activated composite binder having a maximum application temperature of 700 °C are developed. The influence of the grain composition of the basaltic filler on the properties of basaltic concrete using mathematical experiment planning methods is determined. The regression equations for the ultimate tensile strength and bending stress of basaltic concrete are obtained for heating temperature of 700°C. **Conclusion.** The granulometric composition of heat-resistant basaltic concrete based on the activated binder is optimised for basic physical and technical properties. The optimal granulometric design of the composition of heat-resistant concrete indicates that as the coarse fraction (particles greater than 0.63 mm) in the filler composition increases, the ultimate tensile strength and bending stress of heat-resistant basaltic concrete is increased when heated to a temperature of 700°C. This is due to a more compact arrangement of sand grains.*

Keywords: *activated composite binder, heat-resistant basaltic concrete, basaltic filler, grain composition, experiment planning*

Введение. Для повышения прочности бетона, сокращения расхода вяжущего, улучшения реологических свойств бетонной смеси в технологии бетонов выполняют подбор зернового состава заполнителя [1-2]. Оптимально подобранный гранулометрический состав заполнителя обеспечивает получение бетона с улучшенными физико-механическими характеристиками при минимальном расходе вяжущего.

Постановка задачи. Свойства жаростойкого бетона в большой степени зависит от вида и соотношения компонентов. Определение оптимального состава жаростойкого бетона усложняется из-за наличия различных видов жаростойких бетонов, вид и состав, которых зависит от условий эксплуатаций. В качестве вяжущего для получения жаростойкого базальтового бетона в данной работе использован активизированное композиционное вяжущие на основе портландцемента.

Методы исследования. Впервые методика расчёта оптимального состава жаростойкого бетона была предложена в работе [20]. В дальнейшем было произведено её совершенствование

с целью упростить методы расчёта. Заполнитель, связывая часть воды затворения, влияет на реологические и технические свойства бетонной смеси, а, следовательно, на технологию формирования структуры бетона.

Большое влияние оптимальная гранулометрия оказывает на одну из основных характеристик жаростойких бетонов, как деформация под нагрузкой 0,2 МПа, которая зависит от того как сопротивляется не упругой деформации сложная структура жаростойкого бетона, при первом нагреве до температуры службы.

Одним из основных критериев высокого качества для всех видов бетона является прочность, которую в некоторых случаях с одним и тем же заполнителем, на одном и том же цементе можно в известных условиях получить более прочные бетоны, хотя и несколько менее плотные, если обеспечиваем лучший контакт между зернами-заполнителя.

Как указывается в работе [3], в различных температурных интервалах в жаростойком бетоне протекают физико-химические процессы, связанные с дегидратацией вяжущего и образования в новых химических соединений, полиморфным превращением или жидкостным спеканием, каталитической и термической полимеризацией.

Чем меньше число компонентом в таком бетоне при прочих равных условиях, чем ближе они друг другу по своей природе и химическому составу, тем меньше число новообразований, различные объемы которых способствуют образованию микротрещин в структуре конгломератного материала, что уменьшает его прочность.

Увеличение числа компонентов существенно усложняет технологию, что связано с увеличением производственных площадей, усложнением оборудования, т.е. снижением технико-экономических показателей [3]. Такая методика подбора состава жаростойких бетонов позволяет надежно регулировать физико-химические процессы, происходящие в бетоне при его нагреве, и обеспечить тем самым, однородность материала в горячей зоне, что положительно влияет на его эксплуатационные свойства и, в первую очередь, на термическую стойкость бетона, которая приводит к сокращению технологического цикла производства жаростойкого бетона.

Важным показателем качества жаростойкого бетона, определяющим продолжительность его службы, особенно при циклических воздействиях высоких температур, является термическая стойкость. Она же по существу определяет и тепловой режим работы того или иного теплового агрегата (первого нагрева и при последующих нагревах), от которого в значительной степени зависят технологические возможности тепловой установки.

Многочисленные исследования термической стойкости различных жаростойких материалов свидетельствуют о большом влияние на этот показатель гранулометрии заполнителя или гранулометрии шихты для обжиговых материалов. Большое влияние на термическую стойкость оказывает наибольшая крупность заполнителя.

Как указано в работе [3], практически во всех случаях, за некоторым исключением, применение крупного заполнителя снижает термическую стойкость жаростойкого бетона. Целесообразно также снижения среднего диаметра наиболее крупных частиц при получении обжиговых огнеупоров с целью повышения их термической стойкости. Особенно это касается материала с большим ТКЛР, так как крупные куски обуславливают при нагреве деформативную разновидность в структуре материала, вызывая тем самым, дополнительные напряжения.

Наряду с этим заполнители жаростойких бетонов следует рассматривать как химически активные компоненты, которые, взаимодействуя с вяжущим при высоких температурах, образуют окончательную структуру бетона с определёнными свойствами.

Основные свойства жаростойких бетонов формируются под действием физико-химических процессов, происходящих как на стадии твердения вяжущих, так и в процессе нагрева бетона до рабочей температуры и далее во время эксплуатации. Следовательно, в бетонах с мелкозернистой структурой интенсивность всех физико-химических процессов, особенно протекающих при высоких температурах, будет существенно выше, чем в бетонах на крупном заполнителе, поскольку она определяется при прочих равных условиях величиной контактирующей поверхности. Для бетонов, подверженных воздействию высоких температур, важное зна-

чение имеет определение оптимального соотношения между фракциями заполнителя и верхнего предела крупности зерен, так как это влияет на дисперсность структуры бетона.

Вопросу определения оптимальной гранулометрии посвящены работы [4-7]. Выбор наибольшего размера зерен заполнителя и соотношение фракций в смеси в каждом конкретном случае производится с учетом тангенциальных напряжений в зоне контакта вяжущего и заполнителя с учетом их коэффициента температурного расширения. Как отмечено в работах [4-7], крупный заполнитель из-за большой зоны контакта вызывает более высокие напряжения, что является причиной появления в структуре жаростойкого бетона дефектов при нагреве.

Наиболее важным переменным фактором, регулируя который можно варьировать свойствами бетона, является зерновой состав жаростойкого бетона. Влиянию зернового состава на свойства жаростойкого бетона посвящены работы [8-9].

Анализ литературных данных показывает, что верхний предел крупности зерен заполнителя в зависимости от химической и физической природы огнеупорного материала может колебаться для мелкозернистых бетонов от 0,5 до 5мм [10-11].

Следует отметить, что жаростойкие бетоны на различных заполнителях и различных вяжущих в нашей стране и за рубежом достаточно изучены. Базальтовый заполнитель в силу низкой огнеупорности ограничен по температуре применения до 700°С, хотя имеется достаточно конструкций различных тепловых агрегатов предприятий промышленности строительной индустрии, нефтехимической промышленности и металлургической промышленности, которые эксплуатируются в температурном диапазоне до 700°С.

Данные, приведенные в работе [4] по подбору оптимальной гранулометрии для зернового состава жаростойких бетонов, и опыт исследования свойств жаростойкого бетона в зависимости от крупности зерен заполнителя и компактной его упаковке, позволяют сформулировать вывод, что верхний предел крупности зерен заполнителей жаростойких бетонов для изготовления штучных изделий в виде жаростойких блоков для футеровки газопроводов можно принять равным 5мм.

При проектировании оптимальной гранулометрии состава жаростойких бетонов применяются два метода подбора зернового состава жаростойкого бетона.

По первому методу зерновой состав подбирают таким образом, чтобы добиться максимальной плотности упаковки зерен заполнителей различного диаметра. По первому методу применяют материал с более высокими показателями по прочности.

По второму методу применяют зерновой состав одинакового диаметра, бетон получают менее плотный, но показатели термостойкости выше [4].

Для заполнения пустоты, образованной зернами большого диаметра, зернами меньшего диаметра в жаростойких бетонах для получения более плотной упаковки в единице объема часто используют зерна с дискретной гранулометрией. Размер зерен каждой фракции должно быть строго определенным.

На практике, достичь использование в бетонах строго определенной фракции проблематично, поэтому бетоны характеризуются по средним размерам зерен заполнителя.

Так, П.И. Баженов и др. [11-12] считают, что для получения наиболее плотных бетонов соотношения между средними размерами зерен фракций должны находиться в пределах 1:4 – 1:5, с крупностью зерен заполнителя 0,2мм, 1мм и 5мм. Целесообразность снижения среднего диаметра крупных частиц смеси жаростойкого бетона связана с повышением их термической стойкости. Особенно это важно для бетонов с большим значением температурного коэффициента линейного расширения. Чем больше размеры заполнителя, тем больше возникают дополнительные напряжения. К.Д. Некрасов [13] считает, что в условиях повышенных температур напряжения бетона и дефектность структуры тем выше, чем крупнее заполнитель.

Жаростойкие бетоны, рассматриваемые в работах [14-17] на мелком заполнителе более благоприятной структурой с равномерно распределенными порами, что обеспечивает высокую их прочность при высоких температурах.

Анализируя и обобщая литературные данные об оптимальной гранулометрии жаростойких бетонов для изготовления штучных изделий, верхний предел крупности зерен заполните-

лей был принят до 5 мм. Исходя из этого размер фракции базальтового заполнителя был выбран 0,6мм; 1мм; 5мм. Количественное соотношение между отдельными фракциями в данной работе определяем на основе математико – статистических методов.

Гранулометрический состав жаростойкого базальтового бетона на основе активированного вяжущего оптимизирован по основным физико – техническим свойствам. Для получения бетона с высокими эксплуатационными свойствами, определяющими являются показатели прочности при сжатии, при испытании после сушки при температуре 105°С, при высокой температуре, а также пористость бетона.

По результатам проведенных экспериментов была составлена матрица планирования для трехкомпонентной смеси, где X_1 , X_2 , X_3 – соответствующие фракции компонентов 5мм; 1мм и мене 0,2мм.

Обсуждение результатов. В результате проведенных нами исследований установлена эффективность использования для получения жаростойких бетонов с максимальной температурой применения 700 °С базальтового заполнителя [18]. Получены жаростойкие базальтовые бетоны на композиционном вяжущем без активации, с механической и механохимической активацией.

Дальнейшие исследования были направлены на оптимизацию свойств жаростойкого базальтового бетона на композиционном вяжущем с механохимической активацией регулированием зернового состава заполнителя. Для этой цели был поставлен симплексно-центроидный план эксперимента [19]. Для получения функции отклика

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 \quad (1)$$

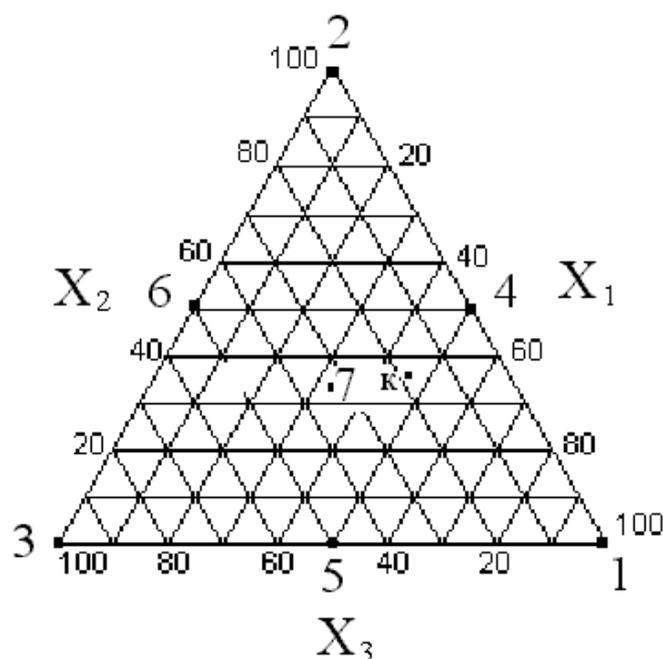


Рис.1. План эксперимента
 Fig.1. The plan of the experiment

необходимо расставить точки эксперимента в вершинах, серединах сторон и центре равностороннего треугольника (рис. 1).

Точка «к» соответствует контрольному зерновому составу – рядовому базальтовому песку месторождения «Ахвай» Рутульского района Республики Дагестан, просеянному через сито № 5 и имеющему следующие характеристики:

- содержание в заполнителе зёрен диаметром $0,16 < d < 0,63$ мм – 19,8 %;

- содержание в заполнителе зёрен диаметром $0,63 < d < 2,5$ мм – 35,2 %;
- содержание в заполнителе зёрен диаметром $2,5 < d < 5$ мм – 45,0 %;

Переменными при проведении эксперимента являлись:

- X_1 – содержание в заполнителе зёрен диаметром $2,5 < d < 5$ мм;
- X_2 – содержание в заполнителе зёрен диаметром $0,63 < d < 2,5$ мм;
- X_3 – содержание в заполнителе зёрен диаметром $0,16 < d < 0,63$ мм.

Параметры оптимизации:

- Y_1 – предел прочности на сжатие R, МПа;
- Y_2 – предел прочности на изгиб R_{tf} , МПа.

План эксперимента представлен в таблице 1.

Таблица 1. План эксперимента
Table 1. The plan of the experiment

№/№	Кодированные переменные (доля фракций песка в заполнителе)			Y_1 , МПа	Y_2 , МПа	y
	X_1	X_2	X_3			
1	1	0	0	43,30	9,18	y_1
2	0	1	0	30,11	9,48	y_2
3	0	0	1	27,22	7,50	y_3
4	0,5	0,5	0	49,42	11,23	y_4
5	0,5	0	0,5	41,77	8,26	y_5
6	0	0,5	0,5	33,42	8,01	y_6
7	0,33	0,33	0,33	38,10	8,36	y_7

Для получения базальтового бетона применялись: портландцемент ЦЕМ 142,5Н производства «Серебряковцемент» – 280 кг; бой глиняного кирпича Каспийского кирпичного завода – 120 кг; пластифицирующая добавка СП – 1 – 2 кг.

Композиционное вяжущее подвергалось механохимической активации.

Образцы изготовляли методом вибропрессования из бетонной смеси с осадкой конуса 2 см. Результаты испытаний базальтового бетона приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Результаты испытания на сжатие образцов в возрасте 28 суток естественного твердения и нагреве до температуры 700°C
Table 2. Results of a compression test of samples aged 28 days of natural hardening and heating to a temperature of 700° C

N/N	Значения параллельных измерений функции отклика Y_1 , МПа						Сред. знач. Y_1 , МПа	Дисперсия S_j^2	Коэф. вариации, %	Ошибка S_j
	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6				
1	43,70	43,30	43,25	43,00	43,45	43,10	43,30	0,06	0,01	0,25
2	29,90	30,30	30,20	30,35	29,60	30,30	30,11	0,09	0,01	0,30
3	27,50	27,10	27,20	27,30	27,40	26,80	27,22	0,06	0,01	0,25
4	49,30	49,40	49,60	49,20	49,70	49,32	49,42	0,04	0,00	0,19
5	41,70	41,90	41,80	41,50	41,50	42,20	41,77	0,07	0,01	0,27
6	33,50	33,46	33,22	33,52	33,42	33,41	33,42	0,01	0,00	0,11
7	38,40	37,80	37,60	38,30	38,40	38,08	38,10	0,11	0,01	0,33

Таблица 3. Результаты испытания на изгиб образцов в возрасте 28 суток естественного твердения и нагреве до температуры 700°C
Table 3. Results of a bend test for samples aged 28 days of natural hardening and heating to 700°C

N/N	Значения параллельных измерений функции отклика Y_1 , МПа						Сред. знач. Y_1 , МПа	Дисперсия S_j^2	Коэф. вариации, %	Ошибка S_j
	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6				
1	9,30	9,05	9,20	9,50	8,90	9,10	9,18	0,04	0,02	0,21
2	9,60	9,30	9,10	9,50	9,80	9,60	9,48	0,06	0,03	0,25
3	7,70	7,40	7,30	7,60	7,40	7,60	7,50	0,02	0,02	0,15
4	11,45	11,03	11,25	11,15	11,30	11,20	11,23	0,02	0,01	0,14
5	8,40	8,50	8,10	8,05	8,20	8,30	8,26	0,03	0,02	0,17
6	7,86	7,82	8,30	8,15	8,13	7,80	8,01	0,04	0,03	0,21
7	8,50	8,20	8,15	8,56	8,45	8,34	8,36	0,02	0,02	0,15

Средние значения функций отклика вычислялись по формуле

$$\bar{Y}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_{ji}; \quad (2)$$

где, j – номер серии опытов ($j = 1, 2, \dots, 7$);

i – номер опыта в серии ($i = 1, 2, \dots, 6$);

k – число параллельных опытов в серии ($k = 6$).

Расчет коэффициентов регрессии производился по формулам 3.

$$\begin{aligned} \beta_i &= y_i; \\ \beta_{ij} &= 4y_{ij} - 2y_i - 2y_j; \\ \beta_{ijk} &= 27y_{ijk} - 12(y_{ij} + y_{ik} + y_{jk}) + 3(y_i + y_j + y_k). \end{aligned} \quad (3)$$

Для оценки значимости коэффициентов регрессии вычислялась их дисперсия по формуле:

$$S_b = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}} \quad (4)$$

и умножалась на критерий Стьюдента $t = 2,03$ при числе степеней свободы $f = N(k - 1) = 7(6 - 1) = 35$ и уровне значимости 0,05.

И в случае, когда $|b| \leq S_b t$, коэффициент принимался незначимым ($b = 0$).

После проверки значимости всех коэффициентов уравнения регрессии имеют вид:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 43,3X_1 + 30,11X_2 + 27,22X_3 + 50,86X_1X_2 + 26,04X_1X_3 + 19,02X_2X_3 - 15,29X_1X_2X_3 \\ Y_2 &= 9,18X_1 + 9,48X_2 + 7,5X_3 + 7,6X_1X_2 - 0,32X_1X_3 - 1,92X_2X_3 - 2,33X_1X_2X_3 \end{aligned} \quad (5)$$

Графическая интерпретация полученных результатов представлена на рис. 2.

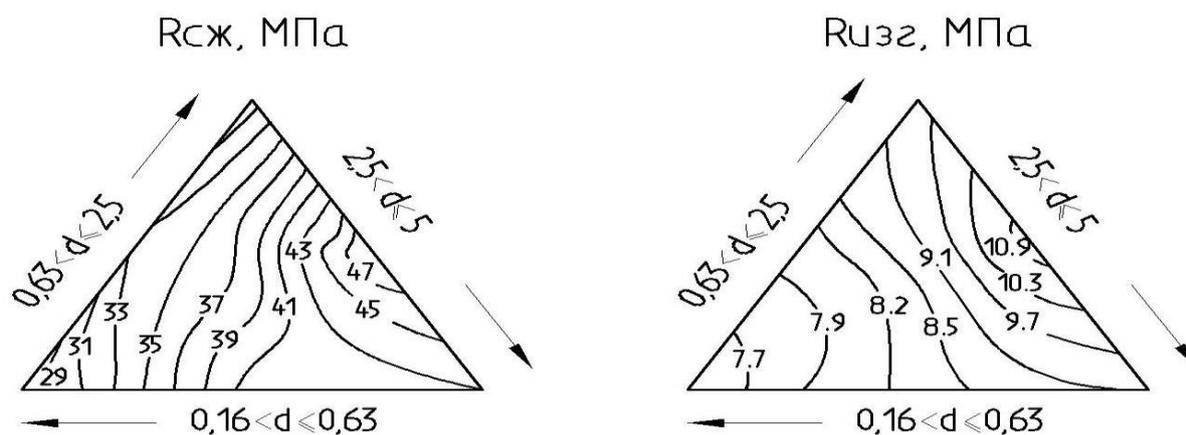


Рис. 2. Диаграммы состояния «состав–свойства»
 $R_{сж}$, МПа – предел прочности при сжатии; $R_{и32}$, МПа – предел прочности при изгибе

Fig. 2. Diagrams of the «composition-properties» state
 R_c , МПа - compressive strength; R_{ig} , МПа - the limit bending strength

Вывод. По мере увеличения в составе заполнителя крупной фракции (частицы более 0,63 мм) предел прочности при сжатии и изгибе жаростойкого базальтового бетона при нагреве до температуры 700 °С повышаются. Это происходит за счет более компактного расположения зерен песка. При переходе же от крупных фракций к мелким, предел прочности при сжатии и изгибе бетона снижается.

С повышением содержания в смеси пылевидных частиц увеличивается ее водопоглощение, что говорит об ухудшении структуры бетона. Точка, соответствующая рядовому (контрольному) составу базальтового песка находится примерно в середине плана эксперимента. Этот факт является благоприятным для изменения зернового состава песка в различных направлениях.

Необходимость отсева подразумевает установку дополнительного оборудования, что ведет к повышению энергозатрат и удорожанию производства, которое можно оправдать только комплексным улучшением характеристик бетона.

Поэтому для дальнейших исследований жаростойкого базальтового бетона целесообразно применение базальтового заполнителя контрольного зернового состава.

Библиографический список:

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Высш. шк., 1978. – 455 с.
2. Иванов И.А. Легкие бетоны с применением зол электростанций. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 136 с.
3. Тотурбиев Б.Д. Строительные материалы на основе силикат - натриевых композиций [Текст] / Б.Д. Тотурбиев. – М.: Стройиздат, 1988 – 203 с. Стрелов, К.К. Теоретические основы технологий огнеупорных материалов [Текст] / К.К. Стрелов. – М.: Metallurgy, 1979 – 180с.
4. Стрелов К.К. Теоретические основы технологий огнеупорных материалов [Текст] / К.К. Стрелов. – М.: Metallurgy, 1979 – 180с.
5. Некрасов К.Д. Тяжелый бетон в условиях повышенных температур [Текст] / К.Д. Некрасов, В.В. Жуков, В.Ф. Гуляева. М.: Стройиздат. 1972. – 128с. Стрелов К.К. Структура и свойства огнеупоров. К.К. Стрелов. М.: Metallurgy, 1982 – 208с.
6. Струмилин С.Г. О критериях оптимального планирования [Текст] / С.Г. Струмилин // Экономия. – 1974 – С.18-24
7. ГОСТ 20955 – 75 и ГОСТ 20956 – 75. Заполнители и добавки тонкомолотые для жаростойких бетонов. – М.: Издательство стандартов. 1976г. – 22 с.

8. Пособие к СНИП 2.03.04-84. По проектированию бетонных и железобетонных конструкций предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. – М.: ЦИТП Госстрой СССР, 1989. – 183с.
9. Гоберис С.Ю. Влияние максимального крупного заполнителя на термическую стойкость бетона на жидком стекле [Текст] / С.Ю. Гоберис, Л.И. Меркин // сер. 3 Тепломонтажные и изоляционные работы – 1982.– №2. – С.20-22.
10. Горчаков Г.И., Коэффициенты температурного расширения и температурные деформации строительных материалов [Текст] / Г.И. Горчаков, И.И. Лифанов, Л.Н. Терехин. – М.: Изд. Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР. 1969 – 167с.
11. Баженов П.И. Технология автоклавных материалов [Текст] / П.И. Баженов – Л.: Стройиздат, 1978. – 357с.
12. Некрасов К.Д. Тяжелый бетон в условиях повышенных температур [Текст] / К.Д. Некрасов, В.В. Жуков, В.Ф. Гуляева. М.: Стройиздат. 1972. – 128с.
13. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. – М: Высш. шк., 1985. – 327 с.
14. Будников П.П. Технология керамики и огнеупоров [Текст] / П.П. Будников, А.С. Бережной, А.И. Булавин. – М.: Стройиздат, 1962 – 249с.
15. Стрелов К.К. Технический контроль производства огнеупоров. К.К. Стрелов. М.: Metallurgiya, 1979 – 280с.
16. Стрелов К.К. Структура и свойства огнеупоров. К.К. Стрелов. М.: Metallurgiya, 1982 – 208с.
17. Курбанов Р.М., Хаджишалапов Г.Н., Хежев Т.А. Исследование жаростойкого бетона на основе базальтового заполнителя для обетонирования металлических конструкций // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Махачкала, ДГТУ, 2013, Т. 31 (№ 4). С. 61–66.
18. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. – М: Высш. шк., 1985. – 327 с.
19. Тарасова А.П. Подбор состава жаростойкого бетона и методы их расчета [Текст] / А.П. Тарасова. Н.П. Жданова // Новые в технологии жаростойких бетонов. Сб. трудов НИИЖБ. – 1981 – С.34-43.

References:

1. Bazhenov Yu.M. Tekhnologiya betona. M.: Vysshaya shkola; 1978. 455 s. [Bazhenov Yu.M. Technology of concrete. M.: Vysshaya shkola; 1978. 455 p. (In Russ.)]
2. Ivanov I.A. Legkie betony s primeneniem zol elektrostantsii. M.: Stroizdat; 1986. 136 s. [Ivanov I.A. Lightweight concrete with the use of power plant ashes. M.: Stroizdat; 1986. 136 p. (In Russ.)]
3. Toturbiev B.D. Stroitel'nye materialy na osnove silikat-natrievykh kompozitsii. M.: Stroizdat; 1988. 203 s. [Toturbiev B.D. Building materials based on silicate-sodium compositions. M.: Stroizdat; 1988. 203 p. (In Russ.)]
4. Strelov K.K. Teoreticheskie osnovy tekhnologii ogneupornykh materialov. M.: Metallurgiya; 1979. 180 s. [Strelov K.K. Theoretical foundations of technologies of refractory materials. M.: Metallurgiya; 1979. 180 p. (In Russ.)]
5. Nekrasov K.D., Zhukov V.V., Gulyaeva V.F. Tyazhelyi beton v usloviyakh povyshennykh temperatur. M.: Stroizdat; 1972. 128 s. [Nekrasov K.D., Zhukov V.V., Gulyaeva V.F. Heavy concrete in the conditions of high temperatures. M.: Stroizdat; 1972. 128 p. (In Russ.)]
6. Strelov K.K. Struktura i svoystva ogneuporov. M.: Metallurgiya; 1982. 208 s. [Strelov K.K. Structure and properties of refractories. M.: Metallurgiya; 1982. 208 p. (In Russ.)]
7. Strumilin S.G. O kriteriyakh optimal'nogo planirovaniya. M.: Ekonomika; 1974. S.18-24. [Strumilin S.G. About the criteria of optimal planning. M.: Ekonomika; 1974. P.18-24. (In Russ.)]
8. GOST 20955–75 i GOST 20956–75. Zapolniteli i dobavki tonkomolotye dlya zharostoikikh betonov. M.: Izdatel'stvo standartov; 1976. 22 s. [GOST 20955–75 i GOST 20956–75. Fine-ground fillers and additives for heat-resistant concrete. M.: Izdatel'stvo standartov; 1976. 22 p. (In Russ.)]
9. Posobie k SniP 2.03.04-84. Po proektirovaniyu betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksii prednaznachennye dlya raboty v usloviyakh vozdeystviya povyshennykh i vysokikh temperatur. M.: TsITP Gosstroii SSSR; 1989. 183 s. [Guidebook for SniP 2.03.04-84. On the design of concrete and reinforced concrete constructions exposed to elevated and high temperatures. M.: TsITP Gosstroii SSSR; 1989. 183 p. (In Russ.)]
10. Goberis S.Yu., Merkin L.I. Vliyanie maksimal'nogo krupnogo zapolnitelya na termicheskuyu stoikost' betona na zhidkom stekle. Teplomontazhnye i izolyatsionnye raboty. Ser. 3.1982;2:20-22. [Goberis S.Yu., Merkin L.I. The effect of the largest coarse filler on the thermal stability of concrete on a liquid glass. Teplomontazhnye i izolyatsionnye raboty. Ser. 3.1982;2:20-22. (In Russ.)]
11. Gorchakov G.I., Lifanov I.I., Terekhin L.N. Koeffitsienty temperaturnogo rasshireniya i temperaturnye deformatsii stroitel'nykh materialov. M.: Izd. Komiteta standartov, mer i izmeritel'nykh priborov pri Sovete Ministrov SSSR; 1969. 167 s. [Gorchakov G.I., Lifanov I.I., Terekhin L.N. Coefficients of thermal expansion and temperature deformation of building materials. M.: Izd. Komiteta standartov, mer i izmeritel'nykh priborov pri Sovete Ministrov SSSR; 1969. 167 p. (In Russ.)]

12. Bazhenov P.I. Tekhnologiya avtoklavnykh materialov. L.: Stroizdat; 1978. 357 s. [Bazhenov P.I. Technology of autoclave materials. L.: Stroizdat; 1978. 357 p. (In Russ.)]
13. Nekrasov K.D., Zhukov V.V., Gulyaeva V.F. Tyazhelyi beton v usloviyakh povyshennykh temperatur. M.: Stroizdat; 1972. 128 s. [Nekrasov K.D., Zhukov V.V., Gulyaeva V.F. Heavy concrete in the conditions of high temperatures. M.: Stroizdat; 1972. 128 p. (In Russ.)]
14. Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. Metody optimizatsii eksperimenta v khimicheskoi tekhnologii. M: Vysshaya shkola 1985. 327 s. [Akhazarova S.L., Kafarov V.V. Methods of experiment optimisation in chemical technology. M: Vysshaya shkola 1985. 327 p. (In Russ.)]
15. Budnikov P.P., Berezhnoi A.S., Bulavin A.I. Tekhnologiya keramiki i ogneuporov. M.: Stroizdat; 1962. 249 s. [Budnikov P.P., Berezhnoi A.S., Bulavin A.I. Technology of ceramics and refractories. M.: Stroizdat; 1962. 249 p. (In Russ.)]
16. Strelov K.K. Tekhnicheskii kontrol' proizvodstva ogneuporov. M.: Metallurgiya; 1979. 280 s. [Strelov K.K. Technical control of the production of refractories. M.: Metallurgiya; 1979. 280 p. (In Russ.)]
17. Strelov K.K. Struktura i svoystva ogneuporov. M.: Metallurgiya; 1982. 208 s. [Strelov K.K. Structure and properties of refractories. M.: Metallurgiya; 1982. 208 p. (In Russ.)]
18. Kurbanov R.M., Khadzhishalapov G.N., Khezhev T.A. Issledovanie zharostoikogo betona na osnove bazal'tovogo zapolnitelya dlya obetonirovaniya metallicheskiikh konstrukttsii. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2013;31(4):61–65. [Kurbanov R.M., Khadzhishalapov G.N., Khezhev T.A. Research of heat-resistant concrete on the basis of basalt filler for concreting of metal designs. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2013;31(4):61–65. (In Russ.)]
19. Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. Metody optimizatsii eksperimenta v khimicheskoi tekhnologii. M: Vysshaya shkola; 1985. 327 s. [Akhazarova S.L., Kafarov V.V. Methods of experiment optimisation in chemical technology. M: Vysshaya shkola; 1985. 327 p. (In Russ.)]
20. Tarasova A.P., Zhdanova N.P. Podbor sostava zharostoikogo betona i metody ikh rascheta. Novye v tekhnologii zharostoikikh betonov. Sbornik trudov NIIZhB; 1981. S.34-43. [Tarasova A.P., Zhdanova N.P. Selection of the composition of heat-resistant concrete and methods for their calculation. New in the technology of heat-resistant concrete. Collected works of NIIZhB; 1981. P.34-43. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Хаджишалапов Гаджи Нурмагомедович – доктор технических наук, профессор, декан архитектурно-строительного факультета.

Хежев Толя Амирович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Кабардино-Балкарской республики, действительный член Адыгской (Черкесской) Международной академии наук, заведующий кафедрой строительного производства.

Гаджиев Абдулла Магомедсаламович - ассистент.

Курбанов Рамазан Магомедович – соискатель.

Information about the authors:

Khaji N. Khadzhishalapov – Dr. Sci. (Technical), Prof., Dean of the Faculty of Architecture and Construction.

Tolya A. Hezhev - Dr. Sci. (Technical), Prof., Honored Worker of Science of the Kabardino-Balkarian Republic, Full member of the Adyghe (Circassian) International Academy of Sciences, Head of the Department of Construction Industry.

Abdulla M. Gadzhiev – Assistant.

Ramazan M. Kurbanov –Aspirant.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 13.07.2017.

Принята в печать 23.08.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 13.07.2017.

Accepted for publication 23.08.2017.