СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 691.32

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-4-187-196

Оригинальная статья/Original Paper

Исследование влияния электроразогрева керамзитобетонной смеси на структуру и свойства легких керамзитобетонов, подверженных воздействию высоких температур
Г.Н. Хаджишалапов¹, Т.А. Хежев², А.М. Гаджиев¹, Р.Г. Раджабов¹, У.И. Исаева¹

¹Дагестанский государственный технический университет,

¹367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия,

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

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

Резюме. Цель. Целью исследования является изучение влияния предварительного электроразогрева бетонной смеси на структуру и свойства жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем до сушки при температуре 105°C. **Метод.** В основу заложен отечественный и зарубежный опыт исследования влияния предварительного электроразогрева на свойства и структуру различных бетонов, в том числе жаростойких. **Результат.** Разработан и апробирован лабораторный стенд для предварительного электроразогрева смесей. Исследовано влияние предварительного электроразогрева на процесс самопропаривания жаростойкого керамзитобетона. Разработан режим предварительного электроразогрева жаростойкого керамзитобетонной смеси во времени. Получены зависимости напряжений, обусловленные разницей температурных коэффициентов линейного расширения крупного и мелкого заполнителя и растворной части от температуры нагрева; определены зависимости предела прочности керамзитобетона от температуры нагрева керамзитобетонной смеси при различных режимах предварительного разогрева с композиционным вяжущим с соотношением компонентов: портландцемента 70%, минеральная добавка 30%. **Вывод.** Предварительный электроразогрев смеси для жаростойкого бетона с керамзитовым заполнителем на основе активированного композиционного вяжущего позволит получить бетон с более высокими физико-термическими и эксплуатационными характеристиками, а также сократить технологический процесс изготовления жаростойких изделий, период сушки и вывода теплового агрегата на рабочий режим.

Ключевые слова: предварительный электроразогрев, керамзитобетон, самопропаривание, режим нагрева, водотвердое отношение

Для цитирования: Г.Н. Хаджишалапов, Т.А. Хежев, А.М. Гаджиев, Р.Г. Раджабов, У.И. Исаева. Исследование влияния электроразогрева керамзитобетонной смеси на структуру и свойства легких керамзитобетонов, подверженных воздействию высоких температур. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48 (4): 187-196. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-187-196

Investigation of the effect of electric heating of expanded clay concrete mixture on the structure and properties of lightweight expanded clay concrete exposed to high temperatures

G.N. Khadzhishalapov¹, T.A. Khezhev², A.M. Gadzhiev¹, R.G. Radjabov¹, U.I. Isaeva¹

¹ Daghestan State Technical University,

¹367026, Makhachkala, Imam Shamil Ave., 70, Russia,

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

²173 Chernyshevsky Str., Nalchik 360004, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to study the effect of preliminary electrical heating of the concrete mixture on the structure and properties of heat-resistant expanded clay concrete on a composite binder before drying at a temperature of 105°C. **Method.** It is based on domestic and for-

eign experience in studying the effect of preliminary electrical heating on the properties and structure of various concretes, including heat-resistant ones. **Result.** A laboratory stand for preliminary electrical heating of mixtures has been developed and tested. The influence of preliminary electric heating on the process of self-steaming of heat-resistant expanded clay concrete has been studied. A mode of preliminary electric heating of a heat-resistant expanded clay concrete mixture in time has been developed. Stress dependences are obtained due to the difference in the temperature coefficients of linear expansion of coarse and fine aggregates and the mortar part on the heating temperature, as well as the dependences of the ultimate strength of expanded clay concrete on the heating temperature of the expanded clay concrete mixture under various modes of preheating with a composite binder with a ratio of components: Portland cement 70%, mineral additive 30%. **Conclusion.** Based on the results obtained and the analysis of the studies carried out in the field of preliminary electrical heating of concrete mixtures, it can be concluded that the preliminary electrical heating of a mixture for heat-resistant concrete with expanded clay filler based on an activated composite binder will make it possible to obtain concrete with higher physico-thermal and operational characteristics, as well as to reduce the technological process of manufacturing heat-resistant products, the drying period and bringing the thermal unit to the operating mode.

Keywords: electrical preheating, expanded clay concrete, self-steaming, heating mode, water-solid ratio

For citation: G.N. Khadzhishalapov, T.A. Khezhev, A.M. Gadzhiev, R.G. Radjabov, U.I. Isaeva. Investigation of the effect of electric heating of expanded clay concrete mixture on the structure and properties of lightweight expanded clay concrete exposed to high temperatures. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science. 2021; 48(4): 187-196. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-187-196

Введение. Исследованию влияния электроразогрева смеси на свойства обычных бетонов в нашей стране посвящены работы ученых: Б.Г. Скрамтаева, Б.А. Крылова, Н.Н. Данилова, Н.А. Гордиенко, Р.В. Веселова, К.П. Симиренко, А.В. Лагойды, С.А. Миронова, Л.А. Комиссарова, З.М. Ларионова, В.Н. Сизова, Г.И. Цителаури, А.И. Ли, Р.А. Лукачева, Б.А. Усова, А.И. Бирюкова, В.Н. Ефемчука, К.А. Гасанова, В.И. Смирнова, А.С. Арбеньева, В.И. Зубкова, Л.М. Колчеданцева, М.Н. Титова, а также зарубежных ученых: А. Брундома, Х. Болинома, Х. Итакури, Я. Илики, А. Веуми, М. Глевинда, Н. Тейлора, С. Гоиды и других. В исследованиях ученых рассматриваются в основном бетоны, которые эксплуатируются в обычных условиях. Однако влияние электроразогрева смесей на свойства бетонов, которые эксплуатируются в условиях воздействия повышенных и высоких температур, недостаточно изучено.

Исследованию влияния электроразогрева смесей на свойства бетонов, подверженных воздействию повышенных и высоких температур, посвящены работы К.Д. Некрасова, А.Е. Федорова, П.А. Михальчука, А.П. Тарасовой, В.В. Жукова, Т.Р. Тотурбиева, Г.Н. Хаджишалапова и др.

В работах отмеченных авторов проведены исследования по разработке режимов влияния электроразогрева на свойства жаростойких бетонов на портландцементе с тонкомолотыми минеральными добавками на шамотном заполнителе; выявлены особенности твердения жаростойких бетонов на жидком стекле при электроразогреве, а также определена степень влияния предварительного нагрева на свойства жаростойкого шамотного бетона на силикат-натриевом композиционном вяжущем. Установлено, что значительное влияние на структуру и свойства бетонов, подверженных воздействию повышенных и высоких температур, оказывают первоначальные условия твердения вяжущих, количество воды в бетонной смеси, вид крупного и мелкого заполнителя, а также вяжущего.

Постановка задачи. В Дагестанском государственном техническом университете на протяжении ряда лет проводятся исследования влияния электроразогрева на структуру и свойства керамзитобетона на композиционном вяжущем из местного минерального сырья. В качестве крупного заполнителя используются керамзитовый гравий Кизилюртовского керамзитово-

го завода, крупностью зерен до 10мм, а также керамзитовый песок крупностью до 2мм, а в качестве вяжущего портландцемент Серебряковского завода в соответствии с ГОСТ 10178-85 с минеральной добавкой до 30% от портландцемента из обожженного серого аргиллита месторождения Шура-Озень Республики Дагестан. Вяжущее до перемешивания с крупным заполнителем проходил процесс активации на планетарной мельнице «Активатор 4м».

В настоящее время на территории Республики, как указано в работе [16], выявлено более 20 участков и месторождений керамзитовых глин, которые с успехом могут быть использованы в качестве сырьевой базы для производства легких заполнителей.

Химический состав и технологические свойства керамзитовых глин соответствуют требованиям ГОСТ 9757-90; наиболее благоприятными для производства керамзита являются Сарматские глины, распространенные в пределах г. Махачкалы, Избербаша и Кизилюрта. Изучены и разведаны Сулакское, Буйнакское, Эrpелинское, Агачаульское, Талгинское и Архитское месторождения керамзитовых глин с общим запасом более 35 млн.т. Аргиллиты Нижнемелового, Майкопского и Сарматского возраста выявлены в междуречье Акташ-Халагорк, а также в бассейнах рек Сулак, Улучай, Аварское и Андийское Койсу и др. Мощность слоев ярусов глинистых пород 400-900 метров.

Аргиллиты, которые применяются в качестве минеральной добавки в композиционном вяжущем после обжига при температуре 1000°C являются малопластичными, легкоплавкими, средними и хорошо вспучивающимися и могут использоваться так же для производства керамической плитки, для внутренней облицовки стен, а также после обжига и помола для производства кирпича строительного, обыкновенного и лицевого.

Многочисленные проявления майкопских глин [7] для производства облицовочных плиток для внутренней и внешней отделки известны также в междуречье Рубасчай – Халагорк. Верхнеааленские аргиллиты, отмеченные в бассейнах рек Чирагчай и Казакумукское Койсу, также пригодны для производства плитки керамической, фасадной и для облицовки стен при условии подготовки сырья полусухим способом прессования и обжига при температуре 1000°C. Химический состав керамзитовой глины и серого аргиллита приведены в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав керамзитовых глин и серого аргиллита
Table 1. Chemical composition of expanded clay and gray argillite

№ п/п	Наименование месторождения или проявления Name of deposit or occurrence	Материал Material	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO ₂	ППП
1.	Кизилюртовское Kizilyurtovskoye	Керамзитовая глина Expanded clay	54,0	17,0	7,5	3,4	2,25	1,0	2,3	1,13	0,82	0,1	10,5
2.	Шура-Озень Shura-Ozen	Аргиллит серый Argillite gray	56,82	15,0	7,58	0,25	2,34	3,76	4,21	3,5	-	-	-

Целью исследования является изучение влияния предварительного электроразогрева бетонной смеси на структуру и свойства жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем до сушки при температуре 105°C.

Методы исследования. Для бетонов, подверженных воздействию высоких температур, важное значение имеет процесс тепломассопереноса, так как фильтрация пара и жидкости в бетоне влияет на структуру и поровое пространство, поэтому одной из важных задач в технологии бетонов является снижение начальной влажности до сушки при температуре 105°C. Как указано в работе [1], через 2-3 суток после изготовления жаростойкого бетона его влажность W_B^{105}

составляет 10-12%. В этом возрасте наблюдается как фильтрация пара, так и жидкости под действием порового давления.

Сушка и первый нагрев блоков и жаростойких бетонов в тепловых агрегатах, как указано в работах [1,9,12], осуществляется через несколько месяцев.

Снижение количества влаги до сушки с целью снижения деструктивных явлений в структуре бетона, повышения эксплуатационных показателей и снижения технологического цикла сушки и первого нагрева является актуальной задачей. Одним из эффективных методов, который существенно влияет на структуру и свойства бетонов, является предварительный электроразогрев смеси до сушки при температуре 105°C. Особенно это эффективно для бетонов на основе пористых заполнителей, в частности, на керамзитовом заполнителе.

В работах авторов [3] приводятся данные, что предварительный электроразогрев смеси до сушки при температуре 105°C приводит к активизации частиц вяжущего при столкновении между собой. Помимо активизации проходит процесс самопропаривания, так как крупным и мелким заполнителем в бетоне является керамзитовый гравий, который обладает пористой структурой [6,10,11].

Вода, которая накапливается в порах в процессе перемешивания, нагревается и превращается в пар, вызывая эффект самопропаривания. Эффект самопропаривания снижает миграцию влаги в бетоне, тем самым уменьшая напряжения, которые возникают в процессе миграции в межпоровых перегородках. За счет самопропаривания происходит также снижение порового давления в бетоне.

Как указано в работах [4,6], поровое давление, которое возникает в бетоне, вызывает напряжение не более 1,2МПа. Авторы [1] указывают, что поровое давление, замеренное в момент взрывообразного разрушения бетона, не превышало 0,04-0,2МПа и не может привести к растягивающим напряжениям, которые могут вызывать разрушение, а наоборот давление в порах способствует более полной гидратации вяжущего, которое приводит к повышению прочности бетона.

Наиболее деструктивные явления в структуре бетона оказывает миграция влаги из зоны фазового перехода к горячей поверхности бетонного блока. Напряжения, которые возникают из-за миграции влаги, вызваны трением пара со стенками пор. Растягивающее напряжение в бетоне с учетом релаксации и напряжения, которые возникают в структуре бетона из-за разности деформаций заполнителя и растворной части, как указано в работе[1], можно определить по формулам 1 и 2.

$$G_p = \left(8\Pi \cdot N_j \int_0^x \frac{K}{\Pi} dp \right) \left(1 - \frac{t}{2(1+8)tp} \right) \quad (1)$$

где G – коэффициент Пуассона, количество капилляров, проходящие на 1см²;

Π – объемная пористость;

K – коэффициент проницаемости;

t_p – температура;

p – давление пара.

$$G_p = \frac{\Delta\alpha_{tp} \cdot \Delta T E_p^T}{\alpha + tV_{tp} + E_p^t V_p / E_3^T \cdot V^3}, \quad (2)$$

где $\Delta\alpha_{tp}$ – разность суммарных температурных коэффициентов линейного расширения заполнителей и растворной части бетона;

ΔT – интервал изменения температуры при нагреве бетона от T до T_2 ;

E_p^T и E_3^T – модули упругости, соответственно, нагретых заполнителя и растворной части бетона;

V^3, V_p – объемы, соответственно, заполнителя и растворной части бетона на 1м³.

На рис.1, приведена зависимость растягивающих напряжений от скорости нагрева жаростойкого керамзитобетона без предварительного электроразогрева и с предварительным электроразогревом.

Рис. 1. Зависимость напряжений, обусловленных разницей температурных коэффициентов линейного расширения крупных заполнителей и растворной части, от температуры нагрева жаростойкого керамзитового бетона на композиционном вяжущем при скорости нагрева 50°С/час

1 – без предварительного электроразогрева; 2 – с предварительным электроразогревом

Fig. 1. Dependence of stresses due to the difference in the temperature coefficients of linear expansion of large aggregates and the mortar part, on the heating temperature of heat-resistant expanded clay concrete on a composite binder at a heating rate of 50°С/hour

1 - without preliminary electrical heating; 2 - with preliminary electrical heating

Из графика (рис. 1) видно, что структурные напряжения, связанные с разницей температурных коэффициентов линейного расширения крупных заполнителей и растворной части меньше на 25-30% в бетоне с предварительным электроразогревом бетонной смеси. Снижение напряжения связано с уменьшением миграции влаги за счет эффекта самопропаривания и уменьшения трения воды со стенками растворной части керамзитобетона в процессе тепломассопереноса.

В работе [3] также указываются, что электроразогрев смеси приводит к снижению миграционных процессов между пористым заполнителем и растворной частью, так как воздух в порах заполнителя усиливается в объеме и будет противодействовать капиллярным силам миграционного передвижения цементной суспензии. Вследствие этого процесса, электроразогретые до температуры 60-80°С керамзитобетонные смеси имеют более однородную структуру. Из-за ускорения твердения бетона и повышения однородности его структуры улучшаются эксплуатационные свойства жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем.

Для проведения исследования в лаборатории строительных материалов научно-образовательного центра «Современные строительные материалы и конструкции» по методике, приведенной в работах [2,7,8], был собран испытательный стенд, принципиальная схема и вид которого приведены на рис. 2 и 3.

Рис. 2. Принципиальная схема испытательного стенда для предварительного электронагрева бетонной смеси

АТ – автотрансформатор; РТ – регулятор температуры; Б1-Б3 – блоки испытуемые; Т – термодатчик;
 РА1 – амперметр переменного тока; PV1 – вольтметр переменного тока;
 К1 – реле в составе РТ; К1.1 – К1.2 – контакты реле К1; 1 – деревянный корпус блока; 2 – металлические перегородки; 3 – распорка блоков; 4 – испытуемый образец; 5 – электропровод; 6 – спайки

Fig. 2. Schematic diagram of the test bench for preliminary electrical heating of the concrete mix

АТ - autotransformer; RT - temperature controller; B1-B3 - test blocks; T - temperature sensor;
 RA1 - AC ammeter; PV1 – AC voltmeter;

K1 - relay as part of the RT; K1.1 - K1.2 - relay contacts K1; 1 - wooden case of the block; 2 - metal partitions;
 3 - strut blocks; 4 - test sample; 5 - electrical wire; 6 - adhesions

Рис. 3. Вид испытательного стенда для предварительного электронагрева бетонной смеси

Fig. 3. View of the test bench for preliminary electrical heating of the concrete mixture

Обсуждение результатов. Результаты проведенных исследований по определению влияния предварительного электронагрева смеси на структуру и физико-механические свойства керамзитобетона показали, что полученные результаты хорошо согласуются с результатами других авторов [2,8].

На рис. 4 и в табл. 2 приведены режимы предварительного электронагрева керамзитобетонной смеси при температурах 60°, 80°, 90°С.

Таблица 2. Режимы предварительного электронагрева керамзитобетонной смеси при температурах 60°, 80°, 90°C**Table 2. Modes of preliminary electric heating of expanded clay concrete mixture at temperatures of 60°, 80°, 90°C**

Температура Temperature	Время испытания, час/ Test time, hour		
	Подъем Rise	Прогрев Warming - up	Выдержка (без подогрева) Excerpt (without heating)
90°	2	2	4
80°	1,5	2	6
60°	1	2	6

Рис. 4. Режимы электронагрева керамзитобетонной смеси во времени

1 – нагрев при 90°C; 2 – нагрев при 80°C; 3 – нагрев при 60°C

Fig. 4. Modes of electric heating of expanded clay mixture in time

1 – heating at 90°C; 2 – heating at 80°C; 3 – heating at 60°C

Испаряющаяся в бетоне влага в виде пара фильтруется к поверхностям элемента, при этом в каждой температурной зоне бетона, несмотря на значительную скорость фильтрации пара, сохраняется термодинамическое равновесие, что подтверждается данными, приведенными в работах [1,4,5,13,14]. Пар фильтруется также по направлению теплового потока, изменяя влажность бетона в элементах. Этот процесс был изучен, результаты исследований приведены в работе [1].

При нагреве элементов из жаростойкого бетона его влажность в наибольшей степени (1,5 раза по сравнению с начальной влажностью) увеличивалась непосредственно за зоной испарения при температурах 50-70°C. При заполнении водой 70-80% объема порового пространства, структура бетона становится непроницаемой для жидкости и пара.

Как видно из рис. 5, рост прочности бетона при предварительном электронагреве смеси, а также после сушки до температуры 105°C до постоянной массы объясняется тем, что при предварительном электронагреве происходит процесс самопропаривания, связанное с наличием достаточного количества влаги, содержащих в зернах заполнителя.

При нагреве образцов бетона до температуры 400°, 600°, 800° и 1000°C прочность бетона снижается с увеличением температуры нагрева в результате изменения структуры затвердевшего портландцемента вследствие обезвоживания и разрушения пространственной решетки

кристаллогидратов при их дегидратации, сопровождаемые потерей их прочности, а также в результате разности в деформациях цементного камня и заполнителя при первом нагреве.

Рис. 5. Зависимость прочности от температуры нагрева керамзитобетона с композиционным вяжущим (соотношение компонентов: портландцемента 70%, минеральная добавка 30%) при различных режимах предварительного разогрева

Fig. 5. Dependence of strength on heating temperature of expanded clay concrete with composite binder (component ratio: Portland cement 70%, mineral additive 30%) under different preheating modes

Установлено, что максимальное напряжение в бетоне возникает при резком подъеме температуры, вследствие чего появляются значительные температурные напряжения. Эти процессы происходят при температуре предварительного разогрева в интервале от 40 до 70°C. Для снижения влияния напряженного состояния на структуру твердеющего жаростойкого бетона на керамзитовом заполнителе рекомендуется при температуре 40-70°C в течение часа устроить технологический перерыв в подъеме температуры [1]. Увеличение скорости подъема температуры от 10°C/час до 40°C/час не оказывает существенного влияния на изменения прочностных характеристик бетона как до, так и после нагревания образцов бетона до температуры 1000°C.

Нейтрализация деструктивных явлений при увеличении скорости нагрева до 40°C/час в процессе предварительного электроразогрева связана с наличием в бетоне активированного композиционного вяжущего с развитой удельной поверхностью, который снижает температурные деформации в бетоне и способствует интенсификации реакции гидратации с повышением температуры.

Для жаростойких бетонов на основе керамзитового заполнителя очень важно снижение количества влаги до сушки, поэтому при подборе состава бетона важную роль играет водотвердое отношение. Водотвердое отношение для жаростойких бетонов колеблется в пределах от 0,2 до 0,35, чтобы подвижность смеси по осадке стандартного конуса не превышала 2см. Как указано в работе [1], уменьшение водотвердого отношения до 0,25 приводит к повышению прочности после электроразогрева смеси до 50%.

Причиной замедления твердения бетонов с большим содержанием воды является увеличение расстояния между частицами цемента из-за большого слоя воды и уменьшения силы взаимодействия между частицами. Изменение прочности керамзитобетона при сжатии одинаково

при водотвердом отношении $0,2 \div 0,25$, как при нормальных влажных условиях твердения, так и с применением электроразогрева смеси.

При формировании изделий из жаростойкого бетона для уплотнения смеси и создания плотной упаковки крупного и мелкого заполнителя необходимо применение дополнительного пригруза.

Предварительный электроразогрев позволяет оптимизировать подвижность бетонной смеси за счет регулирования водотвердого отношения, количества пластифицирующей добавки и количества активированного композиционного вяжущего для повышения эксплуатационных характеристик жаростойких изделий. Это достигается предварительным электроразогревом смеси за счет удаления химически несвязанной воды из растворной части бетона, а также влаги поровой структуры заполнителя.

Вывод. На основании полученных результатов и анализа проведенных исследований в области предварительного электроразогрева бетонных смесей можно сделать вывод, что предварительный электроразогрев смеси для жаростойкого бетона с керамзитовым заполнителем на основе активированного композиционного вяжущего позволит получить бетон с более высокими физико-термическими и эксплуатационными характеристиками, а также сократить технологический процесс изготовления жаростойких изделий, период сушки и вывода теплового агрегата на рабочий режим.

Установлено, что наиболее благоприятным режимом первого нагрева является ступенчатый нагрев, так как способствует снижению деструктивных процессов в бетоне, вызванные структурными нарушениями в период подъема температуры первого нагрева. Предварительный электроразогрев позволяет получить бетон высокого качества при значительном сокращении времени термической обработки.

Библиографический список:

1. Некрасов К.Д. Сушка и первый нагрев тепловых агрегатов из жаростойких бетонов [текст] К.Д. Некрасов, В.В. Жуков, В.Ф. Гуляева. – М.: Стройиздат. 1976-96с.
2. Федоров А.Е. Разработка режимов электроразогрева жаростойких бетонов [текст]/ А.Е. Федоров., П.А. Михальчук. // сб.тр. НИИЖБ-М., Стройиздат СССР, - 1964. С214-216.
3. Крылов Б.А., Копылов В.Д. Кинетика потерь влаги бетонами в процессе электропрогрева [текст] Б.А. Крылов, В.Д. Копылов// Вопросы общей технологии и ускорения твердения бетона – Москва – 1970-С.186-194.
4. Крылов Б.А., Ли А.И. Механизм воздействия форсированного подъема температур на физико-химических процессов в бетоне при электроразогреве [текст]/ Б.А. Крылов, А.И. Ли// Вопросы общей технологии и ускорения твердения бетона – Москва – 1970-С. 164-137.
5. Литовский Е.Я. Переносные свойства вещества. Тепло и массоперенос. – Минск АНБССР, 1972.т.7 – С.424-432.
6. Орендлихер Л.П. Бетоны на пористых заполнителях в сборных железобетонных конструкциях [текст]/ Л.П. Орендлихер – М: Стройиздат, 1983, С65-68.
7. Method and apparatus for measuring impedance of a conducting medium with a calibrated probe: Пат.3566233 США, МКИ G 01 №27/00; Alan Richard (C|||A); Hoffmann-La Roche Inc. №769150; Заявл.2.10.1968; Оpubл.23.02.1971.
8. Федоров А.Е., Михальчук П.А. Влияние электропрогрева на свойства жаростойкого бетона на портландцементе с тонкомолотой шамотной добавкой и шамотным заполнителем. [текст]/ А.Е. Федоров, П.А. Михальчук // Жаростойкие бетоны – Москва – 1964 – С.299-300.
9. Хаджишалапов Г.Н. Влияние предварительного разогрева на термомеханические свойства жаростойкого шамотного бетона на силикат-натриевом Композиционном вяжущем [текст]/ диссертация кандидат. технич. наук: 0523-05/ Хаджишалапов Г.Н. – М. 1995-160с.
10. Krylov B.A. Temperature Influence on Concreting Structures and its Hardenings. / International Simposium in Japan E&FN Spook. 1995/-Wolum Two.917-925p/
11. Krylov B.A. Cold Weather Concreting. USA. –CRC Press LLC. 1998-227 p.
12. Патент РФ № 2082699. Способ изготовления безобжиговых шамотных огнеупоров. Бюллетень изобретений 1997 №18. Тотурбиев Б.Д., Жуков В.В., Хаджишалапов Г.Н., Батырмурзаев Б.Д.
13. Bazant L.P. Pore Pressure and drying of concrete at high temperature. J. of the engineering mechanics division: Proceedings ASTM – Easton, Pa.: ASTM, 1978, October, EM5, p.1059-1079.
14. Sahota M.S., Pagni P. J. Heat and mass transfer in porous media subject to fires. – Intern J. of heat and mass transfer. 1979, vol.22, p. 1069-1081.
15. Powers T.C., Brownayard T.L. SDudies of the physical properties of hardened Portland cement past. – Bulletin of the research laboratories of the Portland cement association. Chicago: R.L.P.C.A., 1948, N 22, p. 101-999.
16. <http://geologdgu.blogspot.com/>

References:

1. Nekrasov K.D. Drying and first heating of heat-resistant concrete units / [text] K.D. Nekrasov, V.V. Zhukov, V.F. Gulyaev. M.: Stroyizdat. 1976; 96. [In Russ]
2. Fedorov A.E. Development of modes of electrical heating of heat-resistant concretes [text] / A.E. Fedorov., P.A. Mikhalkchuk. // sb.tr. NIIZhB-M., Stroyizdat USSR, 1964; 214-216 [In Russ]
3. Krylov B.A., Kopylov V.D. Kinetics of moisture loss by concrete in the process of electrical heating [text] *Issues of general technology and acceleration of concrete hardening*. Moscow. 1970; 186-194. [In Russ]
4. Krylov B.A., Li A.I. The mechanism of the impact of forced temperature rise on physical and chemical processes in concrete during electrical heating [text] *Issues of general technology and acceleration of concrete hardening*. Moscow 1970; 164-137. [In Russ]
5. Lithuanian E.Ya. Transfer properties of matter. Heat and mass transfer. Minsk ANBSSR, 1972; 7: 424-432.
6. Orentlicher L.P. Concrete on porous aggregates in prefabricated reinforced concrete structures [text] / L.P. Orentlicher - M: Stroyizdat, 1983; 65-68. [In Russ]
7. Method and apparatus for measuring impedance of a conducting medium with a calibrated probe: US Pat. 3566233, MKI G 01 No. 27/00; Alan Richard (C||A); Hoffmann-La Roche Inc. No. 769150; Appl. 2.10.1968; Published on February 23, 1971.
8. Fedorov A.E., Mikhalkchuk P.A. Influence of electrical heating on the properties of heat-resistant concrete based on Portland cement with finely ground fireclay additive and fireclay filler. [text]. *Heat-resistant concretes* – Moscow. 1964; 299-300. [In Russ]
9. Khadzishalapov G.N. The influence of preheating on the thermomechanical properties of heat-resistant fireclay concrete on sodium silicate composite binder [text] / dissertation candidate. tech. Sciences: 0523-05/ Hadzhishalapov G.N. M. 1995; 160. [In Russ]
10. Krylov B.A. Temperature Influence on Concreting Structures and its Hardenings. / International Symposium in Japan E&FN Spook. 1995; 2: 917-925.
11. Krylov B.A. Cold Weather Concreting. USA. –CRC Press LLC. 1998; 227.
12. Patent of the Russian Federation No. 2082699. Method for the manufacture of non-firing fireclay refractories. Bulletin of Inventions 1997; 18. Toturbiev B.D., Zhukov V.V., Khadzishalapov G.N., Batyrmurzaev B.D. [In Russ]
13. Bazant L.P. Pore pressure and drying of concrete at high temperature. J. of the engineering mechanics division: Proceedings ASTM - Easton, Pa.: ASTM, 1978; October, EM5:1059-1079.
14. Sahota M.S., Pagni P. J. Heat and mass transfer in porous media subject to fires. Intern J. of heat and mass transfer. 1979; 22: 1069-1081.
15. Powers T.C., Brownyard T.L. Studies of the physical properties of hardened Portland cement past. *Bulletin of the research laboratories of the Portland cement association*. Chicago: R.L.P.C.A., 1948; 22: 101-999.
16. <http://geologdgu.blogspot.com/>

Сведения об авторах:

Хаджишалапов Гаджимогомед Нурмагомедович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и организации строительного производства; varus-x@mail.ru

Хежев Толя Амирович, доктор технических наук, профессор, директор института, заведующий кафедрой строительного производства; hejev_tolya@mail.ru

Гаджиев Абдулла Магомедсаламович, старший преподаватель, кафедра технологии и организации строительного производства; Abdulla_gadzhiev_1986@mail.ru

Раджабов Рустам Габидуллаевич, старший преподаватель, кафедра архитектуры; Radzabovrustam67@mail.com

Исаева Улангерек Исаковна, ассистент, кафедра технологии и организации строительного производства; www.ulana@bk.ru

Information about the authors:

Gadzhimagomed N. Khadzishalapov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Technology and Organization of Construction Production; varus-x@mail.ru

Tolya A. Hezhev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Director of the Institute, Head of the Department of Construction Production, hejev_tolya@mail.ru

Abdulla M. Gadzhiev, Senior Lecturer, Department of Technology and Organization of Construction Production; Abdulla_gadzhiev_1986@mail.ru

Rustam G. Radjabov, Senior Lecturer, Department of Architecture; Radzabovrustam67@mail.com

Ulangerek I. Isaeva, Assistant, Department of Technology and Organization of Construction Production; www.ulana@bk.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 22.10.2021.

Одобрена после рецензирования/ Revised 19.11.2021.

Принята в печать/ Accepted for publication 19.11.2021.