



Исследование прочностных характеристик легких торкрет-масс из местного минерального сырья в зависимости от температуры нагрева и количества тонкомолотой добавки

Г.Н. Хаджишалапов, Р.Г. Раджабов, А.М. Омаров, Л.А. Омарова

Дагестанский государственный технический университет,
367015, г. Махачкала, проспект Имама Шамиля, 70, Россия.

Резюме. Цель. В статье представлены общие закономерности получения легких жаростойких торкрет-масс на основе заполнителей диатомитовой крошки и керамзитового песка на композиционном вяжущем из портландцемента с тонкомолотыми добавками из обожженных сланцевых и аргиллитовых глин, боя керамического кирпича. Целью исследования является определение влияния вида и дозировок минеральных добавок и температуры нагрева на пределы прочности при сжатии и изгибе. **Метод.** Применялось современное высокотехнологичное оборудование, методы исследований и испытаний, регламентированные нормативными документами в сочетании с исследовательскими методиками, методы математического планирования эксперимента. **Результат.** Проведены исследования по определению предела прочности при сжатии и изгибе образцов жаростойких торкрет-масс с целью определения и подбора оптимального состава для защиты конструкций бетонной обделки от воздействия высоких температур. **Вывод.** Разработанные составы торкрет-масс на основе композиционного вяжущего из местного минерального сырья обладают удовлетворительными физико-механическими свойствами и сочетаются с результатами других исследований в этой области, что делает их перспективными для применения при усилении конструкций зданий и сооружений, а также для защиты от воздействия высоких температур. Полученные результаты подтверждают возможность применения данных составов в строительной практике.

Ключевые слова: торкрет-масса, диатомитовый, гравий, керамзитовый, песок, композиционное, вяжущее, минеральная, добавка, сланцевая, аргиллитовая, глина, обделка, местное, сырье

Для цитирования: Г.Н. Хаджишалапов, Р.Г. Раджабов, А.М. Омаров, Л.А. Омарова. Исследование прочностных характеристик легких торкрет-масс из местного минерального сырья в зависимости от температуры нагрева и количества тонкомолотой добавки. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025;52(3):237-246. DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-3-237-246

Study of strength characteristics of lightweight shotcrete mixtures from local mineral raw materials depending on heating temperature and amount of finely ground additive

G.N. Khadzhishalapov, R.G. Radzhabov, A.M. Omarov, L.A. Omarova

Daghestan State Technical University,
70 Imam Shamil Ave., Makhachkala 367015, Russia

Abstract. Objective. This article presents the general principles of producing lightweight, heat-resistant shotcrete mixtures using diatomaceous earth aggregates and expanded clay sand on a composite binder of Portland cement with finely ground additives of fired shale and argillite clays and broken ceramic bricks. The aim of the study is to determine the influence of the type and dosage of mineral additives and the heating temperature on compressive and flexural strength. **Method.** High-tech equipment, research and testing methods regulated by regulatory documents, in combination with research techniques, and methods of mathematical experimental design were

used. **Result.** The compressive and flexural strength of heat-resistant shotcrete mixture samples was determined to identify and select the optimal composition for protecting concrete lining structures from exposure to high temperatures. **Conclusion.** The developed shotcrete compositions based on a composite binder made from local mineral raw materials exhibit satisfactory physical and mechanical properties and are consistent with the results of other studies, making them promising for strengthening building structures and protecting against high temperatures. The results confirm the feasibility of using these compositions in construction.

Keywords: shotcrete, diatomaceous earth, gravel, expanded clay, sand, composite, binder, mineral, additive, shale, argillite, clay, lining, local, raw materials.

For citation: G.N. Khadzhishalapov, R.G. Radzhabov, A.M. Omarov, L.A. Omarova. Study of strength characteristics of lightweight shotcrete mixtures from local mineral raw materials depending on heating temperature and amount of finely ground additive. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2025;52(3):237-246. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-3-237-246.

Введение. В связи с принятием в РФ 22 апреля 2014 под № 661 государственной программы Республики Дагестан «Развитие строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства РД», которая утверждена с изменениями 3.04.2024 году в регионе получила развитие инвестиционная и промышленная площадка «Уйташ», которая в конце 2018 года присоединена к территории, опережающей развитие (ТОР) «Каспийск». На инвестиционной площадке «Уйташ» реализуются несколько инвестиционных проектов, среди которых важным для строительной отрасли является строительство завода по производству сухих смесей ООО «Капитал-Инвест-промышленный» в составе, которого может быть налажено производство сухих смесей для торкрет-масс из местного минерального сырья. Защита конструкций зданий и сооружений с применением жаростойких торкрет-масс на протяжении всего периода эксплуатации для сохранения надежности и пожаростойкости, а также футеровка конструкцией подверженных воздействию высоких температур в промышленных тепловых агрегатах промышленности строительной материалов являются актуальной задачей. В рамках реализации программы международного транспортного коридора «Север-Юг» на территории Республики Дагестан на федеральной трассе Р-217 планируется строительство транспортных развязок в обход городов Хасавюрт, Махачкала и Дербент. Самым технически сложным является участок в обход г. Дербента стоимостью 1,5 миллиард рублей за 1 км, общей стоимостью 51 миллиард рублей. На участке будет построен тоннель под цитаделью «Нарын-Кала» протяженностью 300 метров. Строится закрытая противолавинная галерея протяженностью 105 м. на участке дороги Анцух – Тлярота в Тляротинском районе, также в Республике Дагестан эксплуатируются несколько тоннелей в горной части, в том числе Гимринский автодорожный тоннель протяженностью 4,2 км. Для защиты бетонной обделки таких транспортных сооружений от воздействия высоких температур, также необходимо применение жаростойких торкрет-масс для обеспечения нормативных эксплуатационных показателей по пожаростойкости конструкций. Для получения жаростойких бетонов и смесей целесообразно использовать местное минеральное сырье.

Постановка задачи. Для разработки торкрет-масс из местного минерального сырья решались следующие задачи: определение рациональных составов композиционных вяжущих, полученных активацией портландцемента и тонкомолотой добавкой из обожженного местного минерального сырья сланцевой и аргиллитовой глины, а также боя керамического кирпича; обоснование рецептурных и технологических факторов, влияющих на прочностные показатели.

Методы исследования. Составы жаростойких торкрет-масс должны удовлетворять следующим требованиям ВСН 412-80 по физико-механическим и теплофизическим показателям приведенных в табл. 1. Важное значение для качества торкрет-масс имеет чистота сухих компонентов. Крупные и мелкие заполнители должны быть промыты

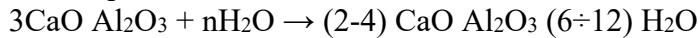
для удаления нежелательных включений, такие как глинистые частицы и другие включения, которые могут влиять на качество торкрет-масс.

Таблица 1. Нормативные показатели физико-механических и теплофизических свойств состава торкрет-масс в соответствии с требованиями ВСН 412-80

Table 1. Standard indicators of physical, mechanical and thermal properties of the composition of shotcrete masses in accordance with the requirements of VSN 412-80

Наименование торкрет-массы Name of the gunite mass	Макс. температура применения, °C Max.Temp.	Средняя плотность после сушки при 105°C, кг/м³ Medium density	Расход вяжущего на 1 м³, кг. Binder consumption	Расход керамзитового песка 1 м³, кг. Consumption of expanded clay sand	Расход диатомитовой крошки Diatomaceous earth consumption	Предел прочности при сжатии кгс/см² Compressive strength	Предел прочности при изгибе кгс/см² Bending strength, kgf/cm²	Коэффициент теплопроводности при 20°C Thermal conductivity coefficient at 20°C	Коэффициент теплопроводности при 1000°C Thermal conductivity coefficient at 1000°C	Термостойкость при нагреве до 800 °C тепло смен Heat resistance up to 800 °C heat change
Керамзитово-диатомитовый Expanded clay-diatomaceous	1000	1000-1100	260-300	325	325	30	17	0,18	0,32	30

В состав торкрет-масс не должны попадать частицы, превышающие допустимые значения, поэтому их необходимо просеять через сито. Желательно, чтобы мелкий заполнитель имел размеры не ниже 1мм. Гранулометрический состав заполнителей для торкрет-масс подбирают по совмещенному графику песок (керамзитовый) – гравий (диатомитовый). При подготовке смесей необходимо следить за влажностью заполнителей. Влажность заполнителей по отношению к сухой абсолютной смеси должна находиться в пределах от 2 до 8%. Низкая влажность компонентов приводит к снижению качества торкрет-масс из-за расслоения. Для обычных жаростойких бетонов влажность смеси должно быть такая, что обеспечить подвижность смеси по осадке стандартного конуса не более 2 см. Предварительное перемешивание компонентов торкрет-масс с вяжущим обеспечивает высокую гомогенность смеси. Для жаростойких торкрет-масс очень важное значение имеет В/Ц отношение. Лишняя непрореагировавшая вода способствует увеличению порового давления, а также из-за миграции влаги из одного порового пространства в другое, связанное с перепадом температуры на перегородках пор, проявляется вероятность появления волоссяных трещин, вследствие чего снижается прочность бетона [20]. Как указано в работах [8, 9] для соединения свободных радикалов оксида кальция в состав портландцемента вводят тонкомолотые минеральные добавки, которые связывают свободные радикалы гидрата оксида кальция в гидросиликаты и гидроалюминаты. В данной работе для получения активированного композиционного вяжущего применяется портландцемент М500 Д0 АО «Чеченцемент» преобладающим содержанием $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$ до 60%, который способствует более интенсивной реакции гидратации.



Портландцемент АО «Чеченцемент» является наиболее доступным и качественным для Республики Дагестан, с точки зрения логистики и стоимости, так как завод находится в радиусе до 150 км от предполагаемого места производства торкрет-масс. В качестве активированной минеральной добавки применены тонкомолотая обожжённая сланцевая и аргиллитовая глина после обжига при температуре 1100°C и бой керамического кирпича. Природный запас сланцевых и аргиллитовых глин Республики Дагестан позволяет наладить производство композиционных вяжущих для получения теплоизоляционных жаростойких торкрет-масс с температурой применения до 800°C

Как указано в работе [1] глинистые сланцы и аргиллитовые глины относятся к нерудным полезным ископаемым. Применение тонкомолотой добавки из обожжённого глинистого сланца или аргиллитовой глины дает возможность снизить содержание портландцемента до 30-35 % с сохранением нормативных строительно-технических свойств материалов [2-5]. В области применения тонкомолотых минеральных добавок из дешевых нерудных материалов и отходов промышленного производства для получения вяжущих материалов проведены достаточно большие исследования, которые приведены в работах [2-5].

Одним из доступных нерудных материалов для получения минеральной добавки является глинистый сланец или аргиллитовая глина, месторождений которых в Республике Дагестан достаточно много. Как указано в работе [6] глинистый сланец Дагестанского месторождения представляет собой смесь глинистых минералов: хлорита, монтмориллонита, полевых шпатов, гидроксида железа и кристаллического кварца. Химический состав глинистого сланца по данным [6] приведены в табл. 2. В табл. 3 и 4 приведены химический состав аргиллитовой глины и глины Каспийского месторождения.

Таблица 2. Химический состав глинистого сланца Дагестанского месторождения

Table 2. Chemical composition of clay shale from the Dagestan deposit

Химический состав глинистого сланца	SiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	ппп
Содержание в %	52,8	0,69	2,98	1,62	0,8	9,6	20,18	1,68	0,32	9,67

Таблица 3. Химический состав аргиллитовой глины Буйнакского месторождения

Table 3. Chemical composition of argillite clay of the Buinaksk deposit

Химический состав аргиллитовой глины	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	п.п
Содержание в %	58,62	19,84	4,95	3,5	4,7	1,3	6,59

Таблица 4. Химический состав глины Каспийского месторождения

Table 4. Chemical composition of clay from the Caspian deposit

Химический состав глины Каспийского месторождения	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	H ₂ O	CaCO ₃	Mg	Na ₂ O	K ₂ O
Содержание в %	57	23	1,2	6,7	6	4,7	2,8	3,7	1,3

Обсуждение результатов. Для получения тонкомолотой добавки для композиционного вяжущего был проведен предварительный обжиг минерального сырья до помола при температуре 500°C, 800°C и 1100°C. В табл.5 приведены составы смесей для испытания. Анализ сырья показывает, что глинистый сланец содержит более 50% оксида кремния.

Таблица 5. Составы смесей композиционного вяжущего на различных видах тонкомолотой добавки из местного минерального сырья

Table 5. Compositions of composite binder mixtures based on various types of finely ground additives from local mineral raw materials

№ состав смеси composition of the mixture	Содержание композитов % Composite content %			
	Портландцемент Portland cement (АО «Чеченцемент») (JSC Chechencement)	Тонкомолотый глинистый сланец Finely ground clay shale	Аргиллитовая глина Argillite clay	Бой керамического кирпича Fighting ceramic bricks
1	90	10	10	10
2	80	20	20	20
3	70	30	30	30
4	60	40	40	40
5	50	50	50	50

Из-за большого количества оксида применение этой тонкомолотой добавки ограничивается до 700-800°C так как при этой температуре из-за размягчения оксида кремния появляются плавни которое разрушает связи между минеральными частицами это подтверждено исследованиями приведенными в работах [7]. Для оценки возможности использования глинистого сланца в композиционном вяжущем при получении торкрет масс с белитовым цементом, были изготовлены образцы вяжущего состава приведенного в табл. 5. Нагревание образцов из бетона на основе портландцемента до 330°C ведет к снижению

прочности почти в два раза по сравнению с начальной [8]. При обезвоживании трехкальциевого гидроалюмината происходит частичное разложение на CaO и C_3A , что влияет на прочность образцов. Чем выше содержание C_3A в образце, тем больше снижается его прочность [8]. При дальнейшем нагревании образцов гидратированный трехкальциевый алюминат продолжает разлагаться ($590^{\circ}C$), с выделением свободного оксида кальция. Этот процесс нарушает кристаллическую решетку C_3A , структура камня разрыхляется, и прочность его резко снижается [8]. Цементный камень приобретает жаростойкие свойства благодаря введению в состав тонкомолотых минеральных добавок, к которым предъявляются определенные требования: добавки должны связывать свободный оксид кальция. Устраняя вероятность его гашения, не образовывать с минералами портландцемента легкоплавких веществ, быть устойчивым к воздействию высоких температур, уменьшить усадку гидратированного портландцемента при нагревании, повышать жаростойкие свойства портландцемента [9]. Известно [9, 10], что для связывания свободного оксида кальция в цементном камне достаточно вводить 25 – 30% тонкомолотой добавки. Другие исследователи считают, что увеличение количества тонкомолотой добавки до 100% приводят к улучшению прочности цементного камня после нагревания до высоких температур. Многие тонкомолотые добавки приводят к образованию легкоплавких эвтектик и снижают температуру применения жаростойких бетонов на портландцементе [11].

Изучая и анализируя реакцию синтеза силикатов кальция, известные ученые в области материаловедения Бутт и Тимашев [12, 13] применяли в качестве известковых компонентов $CaCO_3$, $Ca(OH)_2$ и CaO сделали вывод, что наиболее активной формой является CaO , полученный из $Ca(OH)_2$. Именно такая форма оксида кальция присутствует в нагретом камне. Взаимодействие CaO с кремнеземистыми и глинистыми компонентами начинается только при температуре $400 - 600^{\circ}C$, активно протекая при более высоких температурах [11]. При длительном нагревании появление свободного оксида может наблюдаться и при температуре $250^{\circ}C$ и выше. В связи с этим возникает необходимость применения более активных добавок. Для торкрет-масс важное значение имеет реакционная активность вяжущего в процессе нанесения на обетонируемую поверхность, так как от этого зависят адгезионные свойства и степень сцепления, усилия на растяжение, а также отскок от обетонируемой поверхности. Для механической активации выбран следующий состав вяжущего, который приведен в табл. 5. В предложенный нами состав жаростойкого вяжущего входит портландцемент производства АО «Чеченцемент» ГОСТ 31108-2016, минералогический и химический составы которого приведены в табл. 6 и 7, и тонкомолотая добавка на основе обожженной сланцевой и аргиллитовой глины.

Таблица 6. Химический состав портландцемента
Table 6. Chemical composition of Portland cement

Наименование ПЦ Name	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	SO ₃	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	R ₂ O	ппп
АО «Чеченцемент» JSC Chechencement	20,09	5,3	4,06	2,03	63,14	2,44	0,066	0,22	0,38	–	–	2,2

Таблица 7. Минералогический состав клинкера
Table 7. Mineralogical composition of clinker

Завод изготовитель Manufacturer	Марка цемента Cement brand	Минералогический состав клинкера, % по массе Mineralogical composition of clinker			
		C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
АО «Чеченцемент» JSC Chechencement	ПЦ М 500 до	59	17	7	13

В научно - исследовательской лаборатории строительных материалов ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет» для исследования были изготовлены образцы-кубики жаростойкого композиционного вяжущего. Результаты испытания образцов на прочность на основе композиционного вяжущего без активации и с активацией при различных температурах нагрева в зависимости от количества тонкомолотой добавки приведены на рис. 1-4.

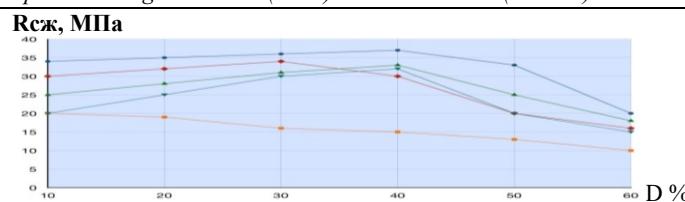


Рис. 1 - Зависимость прочности образцов жаростойкого композиционного вяжущего без механической активации от количества тонкомолотой добавки D, % (бой керамического кирпича)
 Fig. 1 - Dependence of the strength of heat-resistant composite binder samples without mechanical activation on the amount of finely ground additive D, % (broken ceramic brick)

- при температуре 900°C
- ▼ при температуре 700°C
- ▲ при температуре 600°C
- ◆ при температуре 300°C
- при температуре 20°C

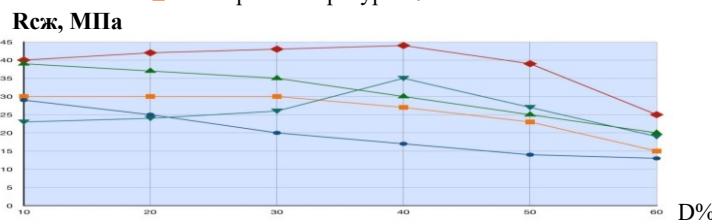


Рис. 2 - Зависимость прочности образцов жаростойкого композиционного вяжущего после механической активации от количества тонкомолотой добавки D, % (бой керамического кирпича)
 Fig. 2 - Dependence of the strength of heat-resistant composite binder samples after mechanical activation on the amount of finely ground additive D, % (broken ceramic brick)

- ◆ при температуре 900°C
- ▲ при температуре 700°C
- при температуре 600°C
- при температуре 300°C
- ▼ при температуре 20°C

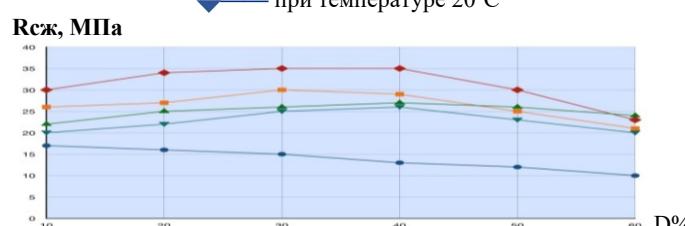


Рис. 3 - Зависимость прочности образцов жаростойкого композиционного вяжущего без механической активации от количества тонкомолотой добавки D, % (тонкомолотая добавка – сланцевая глина)
 Fig. 3 - Dependence of the strength of heat-resistant composite binder samples without mechanical activation on the amount of finely ground additive D, % (finely ground additive - shale clay)

- ◆ при температуре 900°C
- при температуре 700°C
- ▲ при температуре 600°C
- ▼ при температуре 300°C
- при температуре 20°C

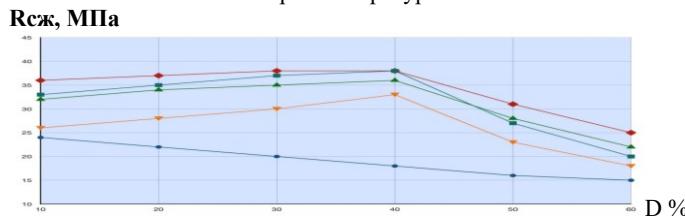


Рис. 4 - Зависимость прочности образцов жаростойкого композиционного вяжущего после механической активации от количества тонкомолотой добавки D, % (тонкомолотая добавка – сланцевая глина)
 Fig. 4 - Dependence of the strength of heat-resistant composite binder samples after mechanical activation on the amount of finely ground additive D, % (finely ground additive - shale clay)

- ◆ при температуре 900°C
- при температуре 700°C
- ▲ при температуре 600°C
- ▼ при температуре 300°C
- при температуре 20°C

Из графиков (рис. 1-4) зависимости следуют, что показатели прочности цементного камня с активацией композиционного вяжущего рассматриваемых составов на 22–25% выше, чем у образцов вяжущего без активации. Увеличение прочности образцов более 20% объясняется тем, что механическая активация вяжущей связки «портландцемент – обожженная сланцевая глина» или «портландцемент – бой керамического кирпича» влечет за собой увеличение плотности растворной части бетона, это связано с повышенной активностью тонкомолотой добавки. При измельчении вяжущего характерно аккумулирование энергии на поверхности раздела фаз, связанное с отсутствием связей между частицами. Это приводит к ускорению протекания химических реакций. Увеличение поверхностной энергии вызывается, прежде всего, разрывом межатомных связей структуры. Разрыв межатомных связей, как указано в работе [14-19], происходит при помоле, дроблении и истирании твердых тел. Высокая прочность образцов цементного камня на активированном вяжущем обуславливается процессами повышения химической активности материалов, входящих в связку «портландцемент – обожженная сланцевая глина», разрушение оболочки частиц цемента и тонкомолотой добавки, при которой материал диспергируется, при этом возрастает способность CaO к взаимодействию с добавкой и создаются благоприятные условия для твердения жаростойких торкрет-масс, начиная с температуры разогрева 200°C, при этом не наблюдается сильной усадки. Анализ зависимости прочности образцов вяжущего от температуры нагрева (рис 1-4.) с различным соотношением тонкомолотой добавки показывает, что при температуре 105°C наблюдается наибольший рост прочности бетона у составов от 20% до 40% тонкомолотой добавки. При увеличении температуры до 700°C наблюдается снижение прочности образцов, за исключением с тонкомолотой добавкой до 40%, а при температуре 800°C прочности показателя образцов вяжущего находится в пределах от 17 до 25 МПа, при дальнейшем увеличении температуры наблюдается снижение прочности образцов вяжущего до 60%.

На рис. 5-8 приведены зависимости прочности при сжатии и изгибе от температуры нагрева состава 1 и 4 приведенных в табл. 5 торкрет-массы на двух видах вяжущей связки с тонкомолотой добавкой до 40%. Для состава 1 и 4 в качестве тонкомолотой добавки принята обожжённая сланцевая глина и бой керамического кирпича. Анализ зависимости прочности свидетельствует о том, что при повышении температуры нагрева наблюдается повышение предела прочности на сжатие и изгиб до 105°C всех составов за счет интенсификации твердения композиционного вяжущего с удалением непрореагирующей воды затворения. Дальнейшее плавное снижение предела прочности на сжатие и изгиб наблюдается в интервале температуры от 100-600°C на 20-25%. В интервале температур 600-900°C до 45-50%, по сравнению с образцами бетона, высушеными до постоянной массы.

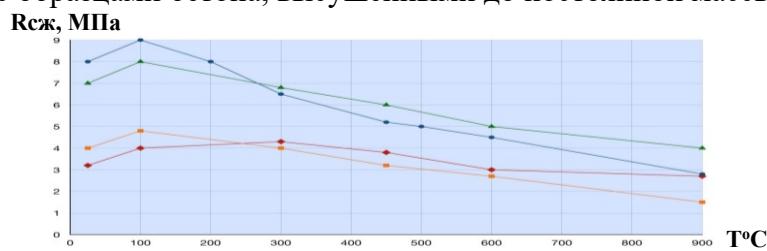


Рис. 5 - Зависимость прочности при изгибе и сжатии от температуры нагрева без активации композиционного вяжущего (тонкомолотая добавка – бой керамического кирпича)

Fig. 5 - Dependence of bending and compressive strength on the heating temperature without activation of the composite binder (finely ground additive - broken ceramic brick)

- — состав 1 при сжатии
- ▲ — состав 4 при сжатии
- — состав 1 при изгибе
- ◆ — состав 4 при изгибе

Интервал температур от 500-800°C характеризуется дегидратацией гидроксида кальция, что вызывает нарушение структуры портландцементного камня и приводит к снижению прочности. В портландцементном камне на основе тонкомолотой добавки

из обожженной аргиллитовой глины наблюдается увеличение прочности после высушивания образцов до постоянной массы. Это происходит вследствие уплотнения структуры цементного камня в процессе удаления воды, в результате прочность повышается становится в 1,25-1,5 раза относительно исходной. В процессе нагрева тонкомолотая добавка связывает свободные радикалы CaO_2 и предотвращают деструктивные явления в составе торкрет-массы, которые связаны с дегидратацией цементного камня.

$R_{\text{сж}}$, МПа

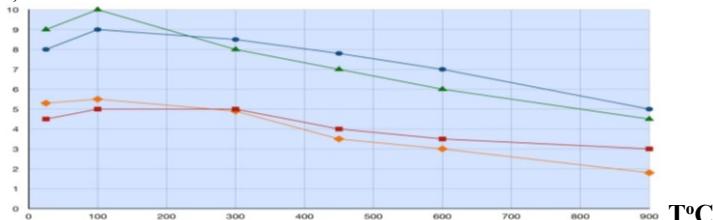


Рис. 6 - Зависимость прочности при изгибе и сжатии от температуры нагрева с активацией композиционного вяжущего (тонкомолотая добавка – бой керамического кирпича)

Fig. 6 - Dependence of bending and compressive strength on the heating temperature with activation of the composite binder (finely ground additive - broken ceramic brick)

- ▲ состав 1 при сжатии
- состав 4 при сжатии
- ◆ состав 1 при изгибе
- состав 4 при изгибе

$R_{\text{сж}}$, МПа

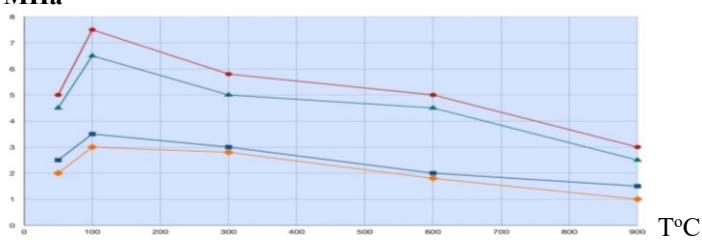


Рис. 7 - Зависимость прочности при сжатии и изгибе после 28 суток твердения без активации вяжущего базового состава №4 (тонкомолотая добавка – глинистый сланец)

Fig. 7 - Dependence of compressive strength on compression and bending after 28 days of hardening without activation of binder base composition No. 4 (finely ground additive - clay shale)

- состав 1 при сжатии
- ▲ состав 4 при сжатии
- состав 1 при изгибе
- ◆ состав 4 при изгибе

$R_{\text{сж}}$, МПа

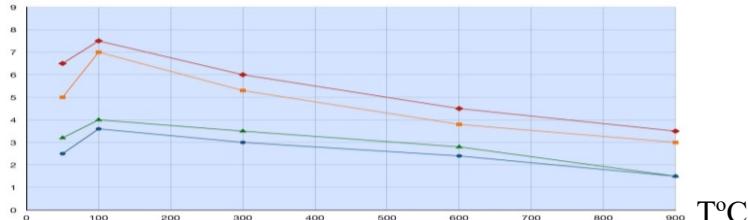


Рис. 8 - Зависимость прочности при сжатии и изгибе после 28 суток твердения с активацией вяжущего базового состава №4 (тонкомолотая добавка – глинистый сланец)

Fig. 8 - Dependence of compressive strength on compression and bending after 28 days of hardening with activation of binder base composition No. 4 (finely ground additive - clay shale)

- ◆ состав 1 при сжатии
- состав 4 при сжатии
- ▲ состав 1 при изгибе
- состав 4 при изгибе

Вывод. Результаты исследований показывают, что композиционное вяжущее на основе портландцемента с тонкомолотыми добавками из обожжённой сланцевой или аргиллитовой глины, а также из боя керамического кирпича обеспечивает жаростойкие свойства торкрет-масс в составе заполнителя из диатомитовой крошки и керамзитового песка с температурой применения до 800°C. Активация композиционного вяжущего,

которая способствует интенсификации процесса гидратации, повышает прочностные и теплофизические характеристики, положительно сказывается на структурообразование и сцепление торкрет слоя с бетонным основанием. Активация композиционного вяжущего так же способствует снижению водопотребности на 17 – 21% и сокращает время набора прочности торкрет-масс.

Использование активированного композиционного вяжущего из тонкомолотой добавки на основе местного минерального сырья и диатомитовой крошки с керамзитовым песком в виде заполнителя Дагестанского месторождения, позволяет получить жаростойкую торкрет-массу с классом по прочности до В3, которая удовлетворяет эксплуатационным нормативным показателям.

Библиографический список:

1. Мацапулин В.У. Глинистые сланцы - эффективное минеральное сырье для изготовления строительных материалов [Текст] / В.У. Мацапулин, А.Б. Тотурбиев, В.И. Черкашин // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. № 3 (38), 2015 С.119-127
2. Тотурбиев Б.Д. и др. Способ получения керамического заполнителя//Патент России № 2129105. 1995. Бюл. № 20.
3. Тотурбиев Б.Д. Черкашин В.И., Мантуров З.А., Тотурбиев А.Б. Композиция для получения теплоизоляционного материала//Патенты России: № 2531079. 2014. Бюл. № 29.
4. Чантурия В.А. Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья//М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2008, с. 5-52;
5. Черкашин В.И., Тотурбиев Б.Д Глинистые сланцы - эффективное местное минеральное сырье для производства вяжущих//Труды Института геологии ДагНЦ РАН «Региональная геология и нефтегазоносность Кавказа», Научно-практическая конференция. Махачкала. 2012. С. 47-51.
6. Тотурбиев Б.Д. Вяжущие из обожжённых глинистых сланцев [Текст] / Б.Д. Тотурбиев, А.Б. Тотурбиев // Бетон и железобетон, № 1 2008, С. 12-15
7. Курбанов Р.М. Жаростойкие базальтовые бетоны на композиционном вяжущем [Текст]: автореф. дисс. ... кан-та техн. наук. 05.23.05 / Курбанов Рамазан Магомедович. – Махачкала, 2018 – 24 с.
8. Некрасов, К.Д. Влияние высоких температур на физико-химические свойства портландцементных клинкерных минералов[Текст] / К.Д. Некрасов// Академия наук СССР – 1986. – С.4-14.
9. Некрасов, К.Д. Жаростойкий бетон на портландцементе[Текст]/К.Д. Некрасов, А.П. Тарасова – М.: Стройиздат. 1969. – с.191.
10. Некрасов, К.Д. Сухие смеси для жаростойкого бетона[Текст]/ К.Д. Некрасов, А.П.Тарасова, С.Ю. Гоберис// Бетон и железобетон. – 1986. – № 3. – С.11-12.
11. Жданова, Н.П. Особо легкий жаростойкий бетон на быстротвердеющем портландцементе и силикат глыб[Текст]/Н.П. Жданова// Академия наук СССР–М., –1986. – С.67-73.
12. Бутт, Ю.М. Портландцемент клинкер Ю.М. Бутт, В.В. Тимашев – М.: Стройиздат, 1967. – 303с.
13. Тырников, В.В. Обоснование причин, влияющие на снижение прочности цементного камня при термообработке [Текст] /В.В. Тырников // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика. Материалы региона. 61-ой научн.техн. конф.Сам ГАСА. –2014. – № 4.1. – С.184-186.
14. Биргер, И.А. Остаточные напряжения [Текст] / И.А. Биргер – М.: Машгиз. 1963. – 296с.
15. Бисултанов, Р.Г. Цементы низкой водопотребности на основе активной минеральной добавки различного происхождения [Текст] / Р.Г.Бисултанов, А. Ю. Муртазаев, М.Ш. Саламанова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. – 2016. – №1. – С.98 – 107.
16. Болдырев, В.В. Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механических технологий [Текст] / В.В. Болдырев, Е.Г. Аввакумов, Е.В. Болдырева. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. – 343с.
17. Ибрагимов, Р.А. Влияние механохимической активации вяжущего на свойства мелкозернистого бетона [Текст]/Р.А. Ибрагимов, С.И. Пименов, В.С. Изотов // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – №2 – С.63-68.
18. Лотов, В.А., Физико-химические процессы при активации цементно- песчаной смеси в центробежном смесителе[Текст]/В.А. Лотов, Е.А. Сударев, В.А Кутугин // Известия вузов. Физика. – 2011. – №11/3. – С. 346-349.
19. Сиденко, М.П., Измельчение в химической промышленности . –М.: Химия, 1977. – 368 с.
20. Крылов Б.А., Ли А.И. Механизм воздействия форсированного подъема температуры на физико-химические процессы в бетоне при электропрогреве [Текст] / Б.А. Крылов, А.И. Ли // Вопросы общей технологии и ускорения твердения бетона. – Москва, – 1970. – С. 134-137.

References:

1. Matsapulin V.U. Clay shales - an effective mineral raw material for the production of building materials [Text] / V.U. Matsapulin, A.B. Toturbiev, V.I. Cherkashin. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences.* 2015; 3 (38):119-127 (In Russ)
2. Toturbiev B.D. et al. Method for producing a ceramic filler. Patent of Russia No 2129105.1995. Bull 20.
3. Toturbiev B.D. Cherkashin V.I., Manturov Z.A., Toturbiev A.B. Composition for producing heat-insulating material. Patents of Russia: No. 2531079. 2014. Bull. 29. (In Russ)
4. Chanturia V.A. Progressive technologies for the complex processing of mineral raw materials. M.: Publishing house "Ore and Metals", 2008:5-52;
5. Cherkashin V.I., Toturbiev B.D. Clay shales - an effective local mineral raw material for the production of binders. Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences "Regional Geology and Oil and Gas Potential of the Caucasus", Scientific and Practical Conference. Makhachkala. 2012: 47-51. (In Russ)
6. Toturbiev B.D. Binders from baked clay shales. B.D. Toturbiev, A.B. Toturbiev. *Concrete and Reinforced Concrete,* 2008;1:12-15. (In Russ)
7. Kurbonov R.M. Heat-resistant basalt concretes on composite binder [Text]: author's abstract. diss. ... can-ta tech. sciences. 05.23.05 / Kurbonov Ramazan Magomedovich. - Makhachkala, 2018:24 p. (In Russ)
8. Nekrasov, K.D. Influence of high temperatures on the physicochemical properties of portland cement clinker minerals USSR Academy of Sciences. 1986: 4-14.
9. Nekrasov K.D., Tarasova A.P. Heat-resistant concrete on portland cement. M.: Stroyizdat. 1969:191.
10. Nekrasov K.D., A.P. Tarasova, S.Yu. Goberis. Dry mixes for heat-resistant concrete. *Concrete and reinforced concrete.* 1986; 3:11-12.
11. Zhdanova, N.P. Especially lightweight heat-resistant concrete on quick-hardening portland cement and silicate lump [Text] / N.P. Zhdanova. USSR Academy of Sciences. Moscow. 1986: 67-73.
12. Butt, Yu.M. Portland cement clinker [Text] / Yu.M. Butt, V.V. Timashev. Moscow: Stroyizdat, 1967:303 p.
13. Tyrnikov, V.V. Justification of the reasons influencing the decrease in the strength of cement stone during heat treatment [Text] Actual problems in construction and architecture. Education. Science. Practice. Proc. regional. 61st scientific. technical. conf. GASU itself. 2014; 4(1):184-186. (In Russ)
14. Birger, I.A. Residual stresses [Text]- M.: Mashgiz. 1963: 296 p. (In Russ)
15. Bisultanov, R.G. Low-water-demand cements based on active mineral additives of various origins [Text] / R.G. Bisultanov, A. Yu. Murtazaev, M.Sh. Salamanova. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences.* 2016;1: 98 - 107. (In Russ)
16. Boldyrev, V.V. Fundamental principles of mechanical activation, mechanosynthesis and mechanical technologies [Text] / V.V. Boldyrev, E.G. Avvakumov, E.V. Boldyрева. - Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2009:343 p. (In Russ)
17. Ibragimov, R.A. Influence of mechanochemical activation of a binder on the properties of fine-grained concrete [Text] / R.A. Ibragimov, S.I. Pimenov, V.S. Izotov. *Journal of Civil Engineering.* 2015; 2: 63-68.
18. Lotov, V.A., Physicochemical processes during activation of cement-sand mixture in a centrifugal mixer [Text] / V.A. Lotov, E.A. Sudarev, V.A. Kutugin. *News of universities. Physics.* 2011;11 (3):346-349. (In Russ)
19. Sidenko, M.P., Grinding in the chemical industry [Text] Moscow: Chemistry, 1977:368 p. (In Russ)
20. Krylov B.A., Li A.I. Mechanism of the effect of forced temperature rise on the physicochemical processes in concrete during electric heating. Issues of general technology and acceleration of concrete hardening. - Moscow. 1970;134-137. (In Russ)

Сведения об авторах:

Гаджимагомед Нурмагомедович Хаджишалапов, доктор технических наук, профессор, кафедра «Технология и организация строительных производств»; yarus-x@mail.ru

Рустам Габибович Раджабов, старший преподаватель, кафедра «Архитектура»; radzabovrustam67@gmail.com

Абдула Магомедович Омаров, аспирант, omarov_abdula@mail.ru

Лариса Абдулаховна Омарова, аспирант, l.omarova.2015@mail.ru

Information about authors:

Gadzhimagomed N. Khadzhishalapov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department of Technology and Organization of Construction Production yarus-x@mail.ru

Rustam G. Radzhabov, Senior Lecturer, Department of Architecture; radzabovrustam67@gmail.com

Abdula M. Omarov, Graduate Student; omarov_abdula@mail.ru

Larisa A. Omarova, Graduate Student; l.omarova.2015@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 24.06.2025.

Одобрена после рецензирования/Revised 30.07.2025.

Принята в печать/Accepted for publication 06.09.2025.