

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE



УДК 691.32

DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-1-215-224

Оригинальная статья /Original article

**Экспериментально-теоретические исследования строительно-технических свойств
огнезащитных вермикулитобетонных композитов**

Т.А. Хежев¹, Г.Н. Хаджишалапов², А.В. Журтов¹, А.А. Джанкулаев¹, Р.Г. Раджабов²

¹ Кабардино-Балкарский государственный университет,
¹360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, Россия,

² Дагестанский государственный технический университет,
²367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Исследование зависимости предела прочности на сжатие от средней плотности и предела прочности при изгибе от предела прочности на сжатие вермикулитобетонного композита. Определение выражения для коэффициентов теплопроводности и теплоемкости полученных вермикулитобетонных композитов в разработанном программном обеспечении теплотехнического расчета предела огнестойкости армоцементных конструкций с огнезащитным слоем из вермикулитобетона. **Метод.** Рассмотрены методы снижения расхода цементного вяжущего в разрабатываемых огнезащитных бетонных композитах. Предложены экспериментально-теоретические методы определения огнезащитных свойств разработанных вермикулитобетонных композитов и формулы для определения их прочностных свойств. **Результат.** Получены зависимости предела прочности на сжатие от средней плотности и предела прочности на изгиб от предела прочности вермикулитобетона на сжатие для исследуемых бетонов, зависимости коэффициентов теплопроводности и теплоемкости во время пожара от вида и средней плотности вермикулитобетонных композитов. **Вывод.** Наилучшими огнезащитными свойствами обладают фибровермикулитобетонные композиты со средней плотностью 470-560 кг/м³. Разработано программное обеспечение теплотехнического расчета численным методом предела огнестойкости двухслойных армоцементных конструкций при пожаре, обеспечивающее совпадение с экспериментальными данными огневых испытаний двухслойных армоцементных элементов не менее 95%.

Ключевые слова: портландцемент, вспученный вермикулит, пепел, гипс, известь, смола древесная омыленная, базальтовое волокно, средняя плотность, предел прочности на сжатие и изгиб, вермикулитобетонный композит, стандартный пожар, огнестойкость, методы прогонки и итерации, коэффициенты теплопроводности и теплоемкости

Для цитирования: Т.А. Хежев, Г.Н. Хаджишалапов, А.В. Журтов, А.А. Джанкулаев, Р.Г. Раджабов. Экспериментально-теоретические исследования строительно-технических свойств огнезащитных вермикулитобетонных композитов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(1): 215-224. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-1-215-224

**Experimental and theoretical studies of the construction and technical properties of
fire-retardant vermiculite-concrete composites**

**T.A. Khezhev¹, G.N. Khadzishalapov², A.V. Zhurtov¹, A.A. Dzhanakulaev¹,
R.G. Radjabov²**

¹H.M. Berbekov Kabardino-Balkarian State University,
¹173 Chernyshevsky St., Nalchik 360004, Russia,

²Daghestan State Technical University,
²70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract. Objective. Study of the dependence of the compressive strength on the average density and the flexural strength on the compressive strength of vermiculite concrete composite.

Determination of the expression for the coefficients of thermal conductivity and heat capacity of the resulting vermiculite concrete composites in the developed software for thermal engineering calculation of the fire resistance limit of reinforced cement structures with a fire retardant layer of vermiculite concrete. **Method.** Methods for reducing the consumption of cement binder in the developed fire-resistant concrete composites are considered. Experimental and theoretical methods for determining the fire-retardant properties of the developed vermiculite-concrete composites and expressions for determining their strength properties are proposed. **Result.** The dependences of the ultimate compressive strength on the average density and the ultimate bending strength on the ultimate compressive strength of vermiculite concrete for the concretes under study, the dependence of the coefficients of thermal conductivity and heat capacity during a fire on the type and average density of vermiculite concrete composites were obtained. **Conclusion.** Fiber-vermiculite-concrete composites with an average density of 470-560 kg/m³ have the best fire-retardant properties. Software has been developed for thermotechnical calculation using a numerical method of the fire resistance limit of two-layer reinforced-cement structures in a fire, ensuring at least 95% agreement with the experimental data of fire tests of two-layer reinforced-cement elements.

Keywords: Portland cement, expanded vermiculite, ash, gypsum, lime, saponified wood resin, basalt fiber, medium density, compressive and flexural strength, vermiculite concrete composite, standard fire, fire resistance, run and iteration methods, thermal conductivity and heat capacity coefficients.

For citation: T.A. Khezhev, G.N. Khadzhishalapov, A.V. Zhurtov, A.A. Dzhankulaev, R.G. Radjabov. Experimental and theoretical studies of the construction and technical properties of fire-retardant vermiculite-concrete composites. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51 (1): 215-224. DOI: 10.21822 /2073-6185-2024-51-1-215-224

Введение. При очевидных преимуществах тонкостенных пространственных конструкций [1 - 3], применение их в строительстве недостаточно. Низкий предел огнестойкости является причиной препятствующей широкому применению пространственных конструкций [4, 5]. В связи с тенденцией к снижению толщины сечения и повышению прочности материала конструкций при увеличении пролета зданий, их огнестойкость снижается. Вместе с тем, с повышением пролета здания убытки при пожаре резко увеличиваются. В практике строительства все чаще к конструкциям предъявляются требования возможности дальнейшего применения после воздействия пожара [6, 7]. За рубежом выполнены исследования, которые показывают экономическую эффективность применения конструкций, обладающих высоким пределом огнестойкости.

Обрушение строительных конструкций является одной из основных причин большого количества человеческих жертв и ущерба при пожарах. Устройство теплозащитных покрытий на пористых заполнителях, таких как вспученный вермикулит и перлит [8], является одним из наиболее эффективных и рациональных способов повышения предела огнестойкости строительных конструкций. Одновременно с основной огнезащитной функцией, такие покрытия могут улучшить декоративные, акустические, теплозащитные свойства конструкций, что делает их применение еще более эффективным. Огнезащитные покрытия на основе вермикулита и перлита не лишены недостатков, например, при повышенных температурах во время пожара коэффициент теплопроводности этих материалов значительно возрастает, что негативно влияет на огнестойкость конструкций.

Постановка задачи. Одним из материалов, являющихся эффективной заменой части портландцемента и заполнителя для огнезащитных составов могут быть отходы пиления вулканического туфа, вулканический пепел и пемза [9 - 11]. Для устранения вредного влияния вторичной гидратации свободного оксида кальция на характеристики огнезащитных бетонов используют активные минеральные добавки [12].

За последние десятилетия отмечается рост объемов применения дисперсно-армированных композитов [13 - 16]. Фибробетоны имеют более высокую прочность на рас-

тяжение, трещиностойкость, ударостойкость, термостойкость по сравнению с бетонной матрицей, что позволяет расширить области их эффективного применения.

Таким образом, преодоление многих недостатков огнезащитных бетонов и изделий возможно в результате создания фиброармированных композитов с применением эффективных заполнителей.

В современных условиях для повышения безопасности зданий и сооружений при пожаре необходимо на этапе проектирования уметь оценивать пределы огнестойкости строительных конструкций. Традиционные методы расчетов огнестойкости строительных конструкций имеют такие недостатки как громоздкость и сложность, приближенность и не универсальность [17 - 20]. Для эффективного решения задачи по определению пределов огнестойкости строительных конструкций требуется использование методов, учитывающих множество различных факторов, связанных, прежде всего, с изменением характеристик материалов при пожаре, но одновременно требуется автоматизация вычислений, которая возможна при использовании численных методов расчета.

Методы исследования. Исследования были направлены на выявление зависимости предела прочности на сжатие от средней плотности и предела прочности при изгибе от предела прочности на сжатие разработанных вермикулитобетонных композитов, также на определение выражений для коэффициентов теплопроводности и теплоемкости полученных вермикулитобетонных композитов в разработанном программном обеспечении теплотехнического расчета предела огнестойкости армоцементных конструкций с огнезащитным слоем из вермикулитобетона.

В работах [8, 21] выявлено, что наиболее эффективными, в качестве огнезащиты строительных конструкций, являются вермикулитобетоны ($\rho_{\text{ср}}=500 - 800 \text{ кг/м}^3$) с соотношением вяжущее:вермикулит 1:2 – 1:4 по объему. При последующем снижении средней плотности вермикулитобетонов ухудшаются их огнезащитные и прочностные характеристики. Вермикулитобетоны на основе портландцемента имеют высокие огнезащитные и эксплуатационные характеристики, что делает возможным значительно расширить их области применения. К минусам таких вермикулитобетонов относятся повышенный расход портландцемента, относительно высокий коэффициент теплопроводности при воздействии высоких температур при пожаре.

Использование вулканических горных пород может являться эффективной заменой части дорогостоящего вяжущего и вермикулита для огнезащитных бетонов. Вулканический пепел, являясь гидравлически активной тонкомолотой добавкой, способен вступать в реакцию гидратации с компонентами цемента. Для повышения гидравлической активности вулканического пепла целесообразно использование активаторов реакции (щелочных и сульфатных). В исследовании [22] показано, что в пенобетонах, с применением вулканических горных пород, можно заменить известью (50%) и гипсом (2%) цементное вяжущее. В связи с этим, в наших исследованиях для снижения расхода цементного вяжущего в разрабатываемых огнезащитных бетонах активатором скрытой гидравлической активности вулканического пепла использовалась воздушная негашеная известь и строительный гипс.

В работе [23] нами разработаны огнезащитные фибровермикулитобетонные композиты с применением вулканического пепла. В экспериментах использовались: пепел фракции 0-0,16 мм Заюковского месторождения; вспученный вермикулит Санкт-Петербургской слюдяной фабрики фракции 0,16-5 мм; Белгородский портландцемент ПЦ500-ДО; негашеная известь; гипс марки Г-4-П-А; воздухововлекающая добавка смола древесная омыленная (СДО), базальтовая фибра изготовления ОАО «Ивотстекло» марки РНБ-9-1200-4с. Армоцемент армировали тканой сеткой № 8-07 (ГОСТ 3826-82) с размером ячейки 8×8 мм, диаметром проволоки 0,7 мм. При изготовлении конструкционного слоя применялся кварцевый песок с модулем крупности 2,2, максимальной фракции 5,0 мм. Состав мелкозернистой бетонной смеси – Ц : П = 1:2,5 с В/Ц = 0,4 ($R_{\text{сж}}=45 \text{ МПа}$, $R_{\text{изг}}=5,3 \text{ МПа}$). Образцы размера 4x4x16 см из вермикулитобетона уплотняли на стандартной виброплощадке. Подвиж-

ность смеси составляла 3-5 см по погружению конуса СтрйЦНИЛ. Образцы хранились в воздушно-сухих условиях.

Перед испытанием балочки высушивались при $t = 105 \text{ }^\circ\text{C}$ до постоянной массы в сушильном шкафу.

Обсуждение результатов. Результаты исследований [23] приведены в табл. 1.

Таблица 1. Зависимость строительно-технических свойств вермикулитобетонов от соотношения компонентов в смеси

Table 1. The dependence of the construction and technical properties of vermiculite concrete on the ratio of components in the mixture

| № составов | Соотношение компонентов в смеси, % по массе | | | | | Количество СДО в % от массы вяжущего | Средняя плотность, кг/м ³ | Предел прочности, МПа | |
|------------|---|------------|-------|---------|------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|----------|
| | цемент | вермикулит | пепел | известь | гипс | | | на сжатие | на изгиб |
| 1 | 71,9 | 29,1 | – | – | – | – | 750 | 6,2 | 2,7 |
| 2 | 50,3 | 29,1 | 21,4 | – | – | – | 762 | 5,9 | 2,5 |
| 3 | 22,5 | 28,3 | 25,8 | 22,5 | 0,9 | – | 750 | 6 | 2,4 |
| 4 | 22,5 | 28,3 | 25,8 | 22,5 | 0,9 | 0,1 | 720 | 6,2 | 2,6 |
| 5 | 22,5 | 28,3 | 25,8 | 22,5 | 0,9 | 0,2 | 710 | 6,15 | 2,5 |
| 6 | 22,5 | 28,3 | 25,8 | 22,5 | 0,9 | 0,3 | 710 | 6 | 2,4 |
| 7 | 62,1 | 37,9 | – | – | – | – | 595 | 2,9 | 1,6 |
| 8 | 43,5 | 37,9 | 18,4 | – | – | – | 600 | 2,7 | 1,5 |
| 9 | 19,6 | 38,1 | 21,9 | 19,6 | 0,8 | – | 590 | 2,8 | 1,4 |
| 10 | 19,6 | 38,1 | 21,9 | 19,6 | 0,8 | 0,1 | 570 | 2,9 | 1,35 |
| 11 | 19,6 | 38,1 | 21,9 | 19,6 | 0,8 | 0,2 | 560 | 2,8 | 1,3 |
| 12 | 19,6 | 38,1 | 21,9 | 19,6 | 0,8 | 0,3 | 540 | 2,7 | 1,2 |
| 13 | 56,2 | 43,8 | – | – | – | – | 500 | 1,8 | 0,65 |
| 14 | 39,3 | 43,8 | 16,7 | – | – | – | 510 | 1,7 | 0,6 |
| 15 | 17,9 | 44,3 | 19,2 | 17,9 | 0,7 | – | 500 | 1,7 | 0,65 |
| 16 | 17,9 | 44,3 | 19,2 | 17,9 | 0,7 | 0,1 | 480 | 1,8 | 0,7 |
| 17 | 17,9 | 44,3 | 19,2 | 17,9 | 0,7 | 0,2 | 470 | 1,7 | 0,6 |
| 18 | 17,9 | 44,3 | 19,2 | 17,9 | 0,7 | 0,3 | 460 | 1,6 | 0,5 |

Для улучшения строительно-технических свойств исходной вермикулитобетонной матрицы осуществляли армирование базальтовыми волокнами. В ходе исследований выявлено [23], что при проценте армирования по объему $\mu_v \approx 0,35-0,65 \%$ и отношении длины волокон к их диаметру $l/d = 1444$ фибровермикулитобетон имеет максимальную прочность на сжатие (3,6 МПа), а на изгиб (2,6 МПа) – при значениях $\mu_v \approx 0,6-0,85 \%$ и $l/d = 1444$. Дальнейшее повышение процента фибрового армирования бетонной матрицы ведет к снижению прочности фибровермикулитобетона на сжатие и изгиб, что объясняется ухудшением их структуры. Таким образом, фибровое армирование базальтовыми волокнами вермикулитобетонной матрицы увеличивает предел прочности композита на изгиб от 55 до 75 %.

На рис. 1 представлена зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности исследованных составов, представленных в табл. 1. Поскольку пористость и средняя плотность бетона связаны между собой, рассматриваемая зависимость по сути является общеизвестной зависимостью прочности бетона на сжатие от пористости.

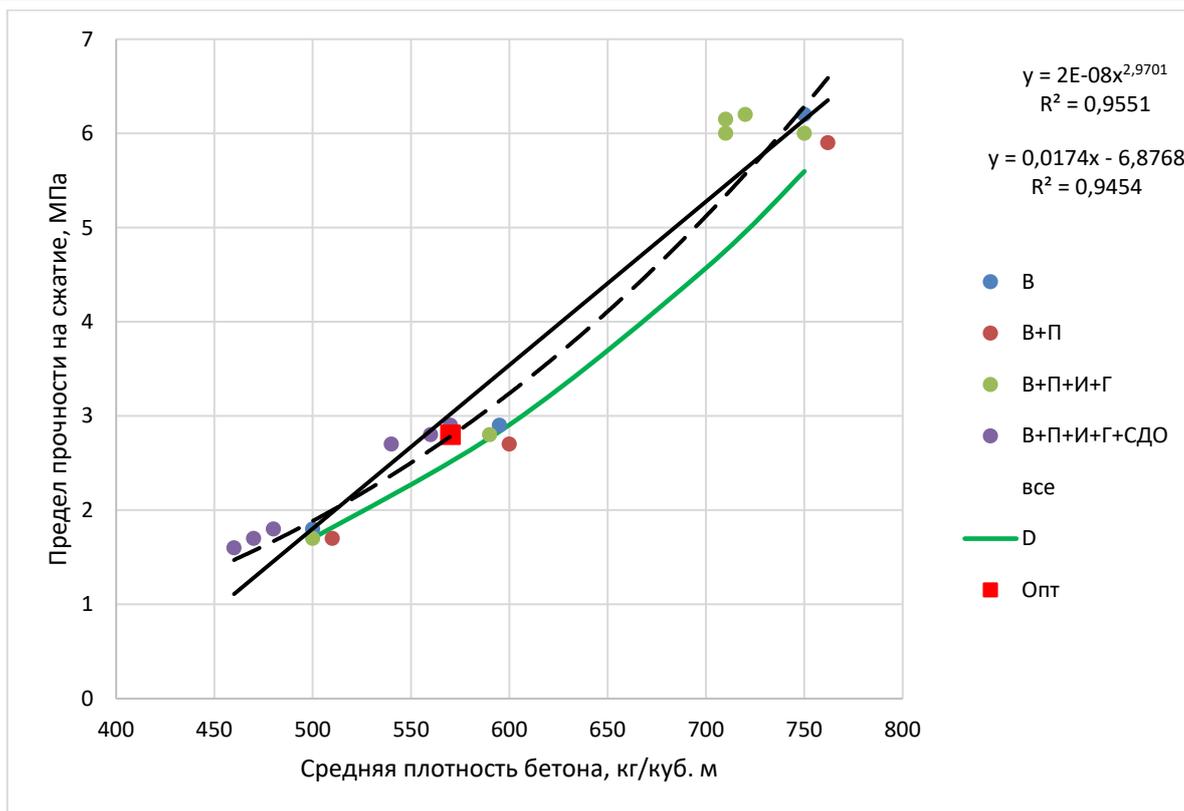


Рис. 1. Зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона:
V, V+П, V+П+И+Г, V+П+И+Г+СДО – соответственно составы на вермикулите,
 вермикулит+пепел, вермикулит+пепел+известь+гипс, вермикулит+пепел+известь+гипс+СДО,
D – по данным Давидюка А.Н. для легких бетонов на стекловидных пористых заполнителях
 [24], **Опт** – рациональный состав №10 по табл. 1

Fig. 1. Dependence of the compressive strength on the average density of concrete:
V, V+P, V+P+I+G, V+P+I+G+SDO – respectively, compositions based on vermiculite,
 vermiculite+ash, vermiculite+ash+lime+gypsum, vermiculite+ash+lime+gypsum+SDO, **D** – according
 to A.N. Davidiyuk. for lightweight concrete with glassy porous aggregates [24],
Opt – rational composition No. 10 according to Table 1

Представленная на рис. 1 зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона описывается формулой

$$R = 2 \cdot 10^{-8} \cdot \rho^{2,97} \quad (1)$$

Показатель $R^2 = 0,96$ (плотность распределения вероятности вблизи линии регрессии) свидетельствует о том, что зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона на 92% не зависит от иных факторов, влияние иных факторов составляет только 8%.

В связи с этим зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона, т.е. пористости, с достаточной для практических целей точностью можно рассматривать как инвариантную к другим факторам. Полученная зависимость хорошо согласуется с результатами исследований Давидюка А.Н. [24] для легких бетонов на стекловидных пористых заполнителях.

На рис. 2 представлена зависимость предела прочности на изгиб от предела прочности на сжатие для исследуемых бетонов.

Представленная на рис. 2 зависимость предела прочности на изгиб R_f от предела прочности бетона на сжатие R для исследованных бетонов без фибрового армирования описывается формулой

$$R_f = 0,385 \cdot R^{1,084} \quad (2)$$

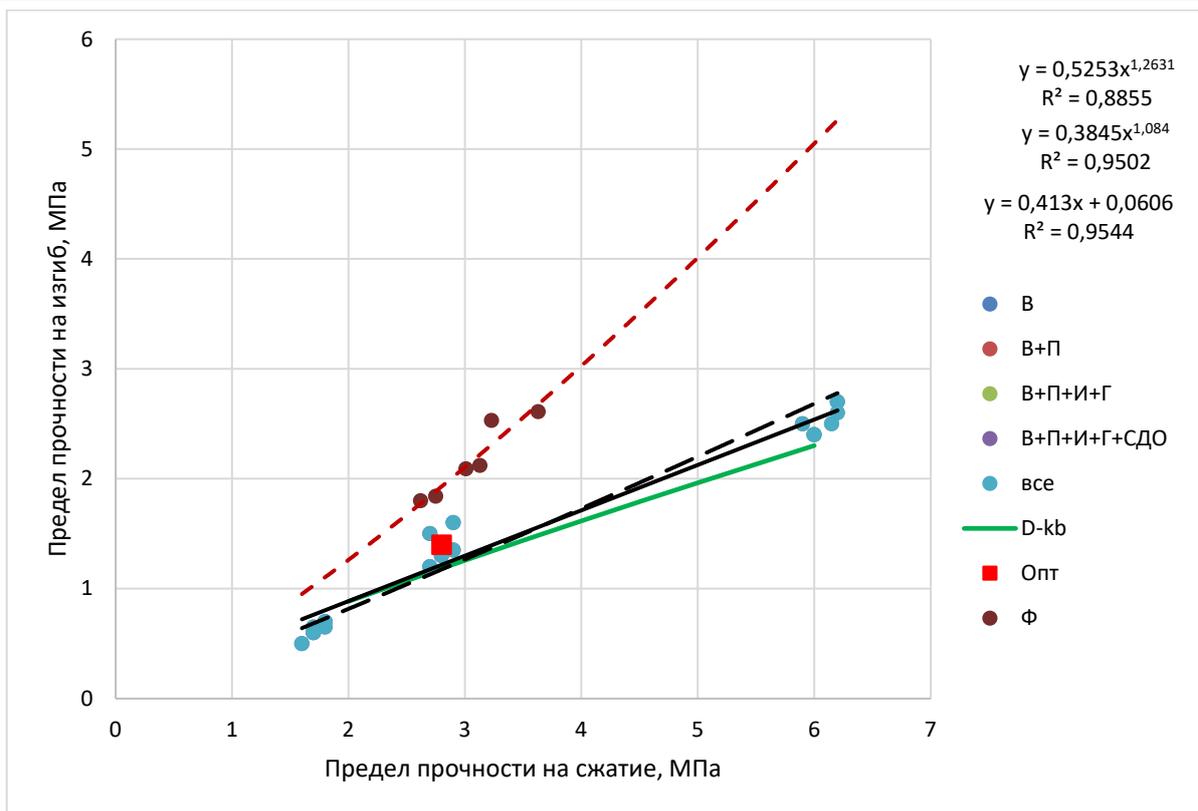


Рис. 2. Зависимость предела прочности при изгибе от предела прочности на сжатие: В, В+П, В+П+И+Г, В+П+И+Г+СДО – соответственно составы на вермикулите, вермикулит+пепел, вермикулит+пепел+известь+гипс, вермикулит+пепел +известь+гипс+СДО; Ф – фибровермикулитобетон; D – по данным Давидюка А.Н. [24] для керамзитобетона для осевого растяжения с переводным коэффициентом 2.3; Опт – рациональный состав №10 по табл. 1
Fig. 2. Dependence of the bending strength on the compressive strength: V, V+P, V+P+I+G, V+P+I+G+SDO – respectively, compositions based on vermiculite, vermiculite+ash, vermiculite+ash+lime+gypsum, vermiculite+ash + lime+gypsum+SDO ; F – fiber vermiculite concrete; D – according to A.N. Davidiyuk [24] for expanded clay concrete for axial tension with a conversion factor of 2.3; Wholesale – rational composition No. 10 according to table 1

Показатель $R^2 = 0,936$ (плотность распределения вероятности вблизи линии регрессии) свидетельствует о том, что зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона на 87% не зависит от иных факторов, влияние иных факторов составляет только 13%. Очевидно, что полученная зависимость (ф. 2.) хорошо согласуется с данными Давидюка А.Н. [24] для керамзитобетонов, что позволяет сделать предположение о независимости зависимости предела прочности на изгиб (растяжение) от предела прочности на сжатие от ряда рецептурных факторов бетонов, что важно с точки зрения расчета конструкций, поскольку позволяет использовать единую базу нормативных значений сопротивлений бетона. Представленная на рис. 2 зависимость предела прочности на изгиб R_f от предела прочности бетона на сжатие R для исследованных бетонов с фибровым армированием описывается формулой

$$R_f = 0,525 \cdot R^{1,263} \quad (3)$$

Показатель $R^2 = 0,9$ (плотность распределения вероятности вблизи линии регрессии) свидетельствует о том, что зависимость предела прочности на сжатие от средней плотности бетона на 80% не зависит от иных факторов, влияние иных факторов составляет 20%. Вероятно, основными факторами, оказывающими влияние на зависимость ф.3, помимо прочности бетона на сжатие, являются параметры фибрового армирования. Применение фибрового армирования обеспечивает повышение предела прочности на изгиб от 55 до 75%.

Проведены натурные испытания двухслойных армоцементных образцов (толщина слоя мелкозернистого бетона – 20 мм, вермикулитобетона – 25 мм) на огнестойкость [23]. Результаты экспериментов показали, что предложенные фибровермикулитобетоны обладают лучшими огнезащитными свойствами по сравнению с другими составами. Это происходит из-за лучшей сохранности фибровермикулитобетонного слоя при нагреве в результате фибрового армирования. Также благодаря добавке СДО, происходит повышение огнезащитных свойств из-за дополнительной поризации фибровермикулитобетона.

Наилучшие огнезащитные свойства выявлены у вермикулитобетонов со средней плотностью 480-560 кг/м³. Определение пределов огнестойкости строительных конструкций экспериментальными методами является трудоемкой задачей и требует приобретения дорогостоящего оборудования.

Именно поэтому разработка расчетных методов определения пределов огнестойкости строительных конструкций является актуальной задачей.

Нами разработаны алгоритм и программное обеспечение для расчета предела огнестойкости многослойных строительных конструкций численным методом [25].

С применением разработанного ПО выполнены вычисления с точностью равной 0,001 и получены коэффициенты k_1, k_2, k_3, k_4 , показывающие хорошую сходимость теоретических и экспериментальных данных.

В результате расчетов на разработанном ПО определены выражения для коэффициентов теплопроводности (Вт/м·°К) и теплоемкости (Дж/кг·°К) разработанных вермикулитобетонов (табл. 2):

Таблица 2. Зависимость коэффициентов теплопроводности и теплоемкости от вида и средней плотности бетона

Table 2. Dependence of thermal conductivity and heat capacity coefficients on the type and average density of concrete

| № | Вид бетона Type of concrete | Средняя плотность, кг/м ³ Average density | Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°К Coefficient thermal conductivity | Коэффициент теплоемкости, Дж/кг·°К Coefficient heat capacity |
|---|---|--|--|--|
| 1 | Армоцемент/ Armocement | 2300 | $\lambda_a(t) = 0,83 - 0,0004t$ | $c_a(t) = 770 + 0,8t$ |
| 2 | Цементный вермикулитобетон/ Cement vermiculite concrete | 500 | $\lambda_o(t) = 0,09 + 0,000093t$ | $c_o(t) = 920 + 0,51t$ |
| 3 | Цементный вермикулитобетонный композит/ Cement vermiculite concrete composite | 480 | $\lambda_o(t) = 0,087 + 0,00008t$ | $c_o(t) = 920 + 0,51t$ |
| 4 | Цементный фибровермикулитобетонный композит/ Cement fiber vermiculite concrete composite | 470 | $\lambda_o(t) = 0,086 + 0,00007t$ | $c_o(t) = 920 + 0,51t$ |
| 5 | Цементный вермикулитобетон/ Cement vermiculite concrete | 595 | $\lambda_o(t) = 0,11 + 0,000057t$ | $c_o(t) = 920 + 0,51t$ |
| 6 | Цементный вермикулитобетонный композит/ Cement vermiculite concrete composite | 570 | $\lambda_o(t) = 0,1 + 0,00006t$ | $c_o(t) = 920 + 0,51t$ |
| 7 | Цементный фибровермикулитобетонный композит/ Cement fiber vermiculite concrete composite | 560 | $\lambda_o(t) = 0,099 + 0,00005t$ | $c_o(t) = 920 + 0,51t$ |
| 8 | Цементный вермикулитобетонный композит/ Cement vermiculite concrete composite | 740 | $\lambda_o(t) = 0,14 + 0,00004t$ | $c_o(t) = 920 + 0,61t$ |
| 9 | Цементный фибровермикулитобетонный композит/ Cement fiber vermiculite concrete composite | 720 | $\lambda_o(t) = 0,12 + 0,00003t$ | $c_o(t) = 920 + 0,61t$ |

Результаты расчета предела огнестойкости армоцементных элементов в зависимости от толщины и состава фибровермикулитобетона представлены на рис. 3.

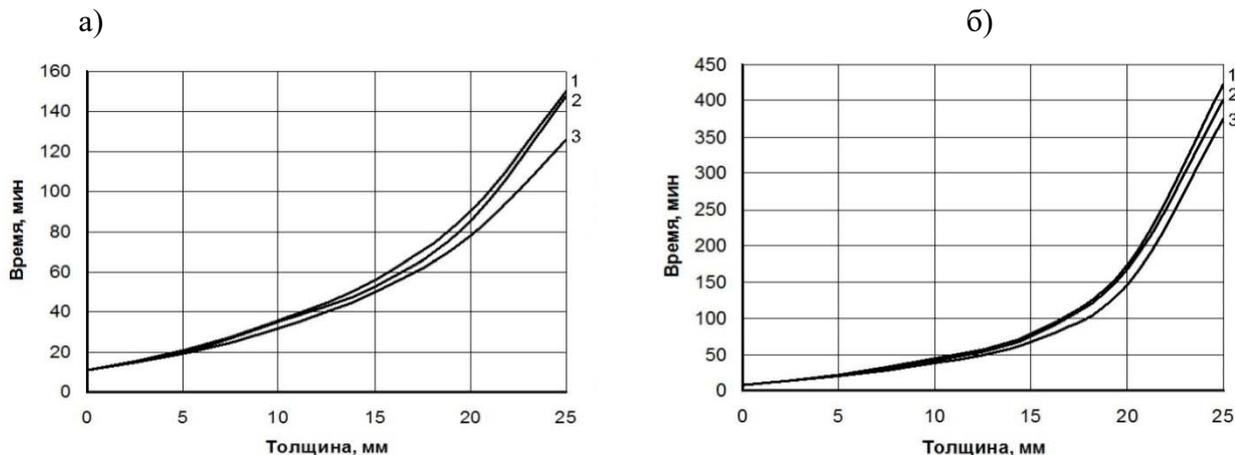


Рис. 3. Влияние толщины, состава и плотности огнезащитного слоя на предел огнестойкости двухслойных армоцементных элементов по признаку потери теплоизолирующей способности (а) и потери несущей способности (б): 1, 2, 3 – фибровермикулитобетон плотностью соответственно, 470 кг/м³, 560 кг/м³, 720 кг/м³

Fig. 3. The influence of the thickness, composition and density of the fire retardant layer on the fire resistance limit of two-layer reinforced cement elements based on loss of heat-insulating ability (a) and loss of load-bearing capacity (b): 1, 2, 3 – fiber vermiculite concrete with a density corresponding 470 kg/m³, 560 kg/m³, 720 kg/m³

Результаты расчетов по определению влияния толщины фибровермикулитобетонных плит на предел их огнестойкости по признаку потери теплоизолирующей способности представлены на рис. 4.

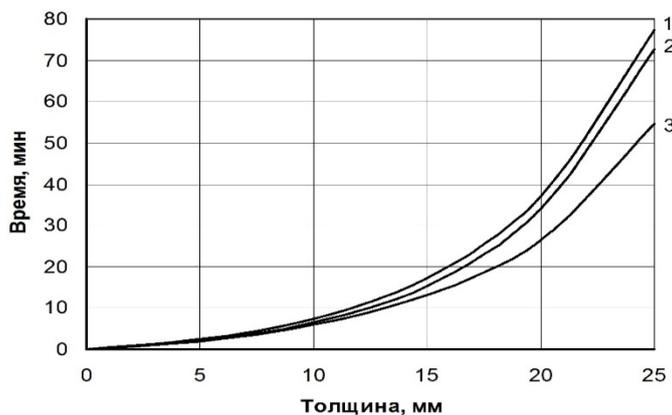


Рис.4. Влияние толщины, состава и плотности фибровермикулитобетона на предел огнестойкости плит по признаку потери теплоизолирующей способности: 1, 2, 3 – фибровермикулитобетон плотностью, соответственно, 470 кг/м³, 560 кг/м³, 720 кг/м³

Fig. 4. The influence of the thickness, composition and density of fibrovermiculite concrete on the fire resistance limit of slabs based on the loss of heat-insulating ability:

1, 2, 3 – fiber vermiculite concrete with a density corresponding 470 kg/m³, 560 kg/m³, 720 kg/m³

Вывод. Предел прочности на сжатие вермикулитобетона зависит от средней плотности бетона на 92%, влияние иных факторов составляет только 8%.

Предел прочности на сжатие фибровермикулитобетона зависит от средней плотности бетона на 80%, влияние иных факторов составляет только 20%. Наиболее высокими огнезащитными свойствами обладают Фибровермикулитобетонные композиты со средней плотностью 480-560 кг/м³.

Разработано программное обеспечение теплотехнического расчета предела огнестойкости двухслойных армоцементных конструкций при пожаре численным методом в программном расчетном комплексе Matlab. Получены значения коэффициентов теплопроводности и теплоемкости вермикулитобетонных и фибровермикулитобетонных композитов на основе анализа результатов экспериментально-теоретических исследований их огнезащитных свойств.

Библиографический список:

1. Лысенко Е.Ф. Армоцементные конструкции. Киев: Вища школа. 1981. 191 с.
2. Митрофанов Е.Н. Армоцемент. Л.: 1973. 208 с.
3. Панарин С.Н., Миронков Б.А. Армоцементные конструкции массового применения. Л.: ЛДНТП. 1975. 32 с.
4. Бушев З.П., Пчелинцев В.А., Федоренко В.С., Яковлев А.И. Огнестойкость зданий. М.: Стройиздат. 1970. 260 с.
5. Панарин С.Н., Хежев Т.А., Жуков В.В., Соломонов В.В. Пути повышения предела огнестойкости тонкостенных армоцементных конструкций со слоем вермикулитобетона / Промышленное строительство. М. 1986. № 8. С. 44 – 46.
6. Ильин Н.А. Последствия огневого воздействия на железобетонные конструкции. М.: Стройиздат. 1979. 128 с.
7. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций после пожара. М.: 2005. 122 с.
8. Руководство по выполнению огнезащитных и теплоизоляционных штукатурок механизированным способом. М.: Стройиздат. 1977. 46 с.
9. Ахматов М.А. Применение отходов камнепиления туффарьеров и рыхлых пористых пород в качестве заполнителей легких бетонов и конструкций из них. Нальчик. 1981.128 с.
10. Ахматов М.А. Пористые заполнители из отходов добычи туфа / Строительные материалы. 1978. № 3. С. 10–11.
11. Ахматов М.А. Эффективность применения местных строительных материалов и бетона. Нальчик: Эльбрус. 1986. 160 с.
12. Некрасов К.Д., Масленникова М.Г. Легкие жаростойкие бетоны на пористых заполнителях. М. : Стройиздат. 1982. 152 с.
13. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов / Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография // 3-е изд. перераб. и доп. М.: АСВ. 2004. 560 с.
14. Волков И.В. Фибробетон : Состояние и перспективы применения / Промышленное и гражданское строительство. 2002. № 9. С. 37–38.
15. Махова М.Ф. Дисперсное армирование портландцемента базальтовыми волокнами / Цемент. 1980. № 2. С. 6–19.
16. Пухаренко Ю.В. Научные и практические основы формирования структуры и свойств фибробетонов: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук Ю.В. Пухаренко. СПб. : Санкт-Петербургский гос. архит.-строит. ун-т. 2005. 42 с.
17. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. М. : Стройиздат. 1888. 142 с.
18. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. М.: Ассоц. «Пожарная безопасность и наука». 2001. 382 с.
19. Романенков И.Г., Зигерн-Корн И.Г. Огнестойкость строительных конструкций из эффективных материалов. М.: Стройиздат. 1991. 320 с.
20. Милованов А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре. М.: Стройиздат. 1998. 304 с.
21. Хежев Т.А. Технология армоцементных конструкций высокой огнестойкости с теплозащитным слоем из эффективного легкого бетона. дисс. ... д-ра техн. наук Т.А. Хежева. Ростов-на-Дону. 2007. 304 с.
22. Хашукаев М.Н. Технология и свойства ячеистых фибробетонов на основе вулканических горных пород. дисс. ... канд. техн. наук СПб. : Санкт-Петербургский гос. архит.-строит. ун-т. 2002. 127 с.
23. Хежев Т.А., Хаджишалапов Г.Н., Шогенова Ф.М., Артабаев А.Х., Машукова М.Х. Свойства огнезащитного вермикулитобетонного композита и мелкозернистого бетона для двухслойных армоцементных конструкций / Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Махачкала. ДГТУ. 2022. том 49 (№ 2). С. 165-177.
24. Давидюк А.Н. Легкие конструкционно-теплоизоляционные бетоны на стекловидных пористых заполнителях. М.: Красная звезда. 2008. 208 с.
25. Хежев Т.А., Культербаев Х.П. Теплотехнический расчет огнестойкости многослойных строительных конструкций // Вестник Кабардино-Балкарского гос. ун-та. (Сер. «Технические науки»). Нальчик: КБГУ. 2000. Вып. 4. С. 9 – 11.

References

1. Lysenko E.F. Reinforced cement structures. Kyiv: Vishcha school. 1981:191. (In Russ)
2. Mitrofanov E.N. *Armocement*. L.: 1973:208. (In Russ)
3. Panarin S.N., Mironkov B.A. Reinforced cement structures for mass use. L.: LDNTP. 1975:32. (In Russ)
4. Bushev Z.P., Pchelintsev V.A., Fedorenko V.S., Yakovlev A.I. Fire resistance of buildings. M.: Stroyizdat. 1970:260. (In Russ)
5. Panarin S.N., Khezhev T.A., Zhukov V.V., Solomonov V.V. Ways to increase the fire resistance limit of thin-walled reinforced cement structures with a layer of vermiculite concrete. *Industrial construction*. M. 1986; 8: 44 – 46. (In Russ)
6. Ilyin N.A. Consequences of fire exposure on reinforced concrete structures. M.: Stroyizdat. 1979:128. (In Russ)
7. Milovanov A.F. Fire safety of reinforced concrete structures after a fire. M.: 2005: 122. (In Russ)

8. Guidelines for making fire-retardant and heat-insulating plasters using a mechanized method. M.: Stroyizdat. 1977:46. (In Russ)
9. Akhmatov M.A. The use of stone sawing waste from tuff quarries and loose porous rocks as fillers for light-weight concrete and structures made from them. Nalchik. 1981:128. (In Russ)
10. Akhmatov M.A. Porous aggregates from tuff mining waste. *Construction materials*. 1978;3:10–11. (In Russ)
11. Akhmatov M.A. Efficiency of using local building materials and concrete. Nalchik: Elbrus. 1986:160. (In Russ)
12. Nekrasov K.D., Maslennikova M.G. Lightweight heat-resistant concrete on porous aggregates. M.: Stroyizdat. 1982:152. (In Russ)
13. Rabinovich F.N. Composites based on dispersed reinforced concrete. Questions of theory and design, technology, structures: monograph/ 3rd ed. reworked and additional M.: ASV. 2004:560 (In Russ)
14. Volkov I.V. Fiber-reinforced concrete: State of the art and prospects for use. *Industrial and civil construction*. 2002; 9: 37–38. (In Russ)
15. Makhova M.F. Dispersed reinforcement of Portland cement with basalt fibers. *Cement*. 1980;2:6–19. (In Russ)
16. Pukhareno Yu.V. Scientific and practical basis for the formation of the structure and properties of fiber-reinforced concrete: abstract of thesis. diss. ... Dr. Tech. Sciences Yu.V. Pukhareno. St. Petersburg : St. Petersburg State. architect-builds univ. 2005:42. (In Russ)
17. Yakovlev A.I. Calculation of fire resistance of building structures. M.: Stroyizdat. 1888:142. (In Russ)
18. Roitman V.M. Engineering solutions for assessing the fire resistance of designed and reconstructed buildings. M.: Assoc. "Fire Safety and Science". 2001: 382. (In Russ)
19. Romanenkov I.G., Zigern-Korn I.G. Fire resistance of building structures made of efficient materials. M.: Stroyizdat. 1991:320. (In Russ)
20. Milovanov A.F. Resistance of reinforced concrete structures in case of fire. M.: Stroyizdat. 1998: 304. (In Russ)
21. Khezhev T.A. Technology of reinforced cement structures of high fire resistance with a heat-protective layer of effective lightweight concrete. diss. Dr. Tech. Science T.A. Khezheva. Rostov-on-Don. 2007:304. (In Russ)
22. Khashukaev M.N. Technology and properties of cellular fiber-reinforced concrete based on volcanic rocks. diss. ...cand. tech. Sciences St. Petersburg. : St. Petersburg State. architect-builds univ. 2002:127. (In Russ)
23. Khezhev T.A., Khadzhisalapov G.N., Shogenova F.M., Artabaev A.Kh., Mashukova M.Kh. Properties of fire-retardant vermiculite concrete composite and fine-grained concrete for two-layer reinforced cement structures. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. Makhachkala. DSTU. 2022; 49 (2):165-177. (In Russ)
24. Davidyuk A.N. Lightweight structural and thermal insulating concrete on glassy porous aggregates. M.: Red Star. 2008: 208. (In Russ)
25. Khezhev T.A., Kulterbaev Kh.P. Thermal engineering calculation of fire resistance of multilayer building structures. *Bulletin of the Kabardino-Balkarian State University. un-ta. (Ser. "Technical Sciences")*. Nalchik: KBSU. 2000; 4: 9 – 11. (In Russ)

Сведения об авторах:

Хежев Толя Амирович, доктор технических наук, профессор, директор института архитектуры, строительства и дизайна; hejev_tolya@mail.ru

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

Журтов Артур Владимирович, кандидат технических наук, и.о. заведующего кафедрой строительного производства; zhurtovartur@mail.ru

Джанкулаев Адам Амерханович, аспирант кафедры строительного производства; hejev_tolya@mail.ru

Раджабов Рустам Габидулаевич, старший преподаватель кафедры архитектуры; yarus-x@mail.ru

Information about the authors:

Tolya A. Khezhev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Director of the Institute of Architecture, Construction and Design; hejev_tolya@mail.ru

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

Artur V. Zhurtov, Cand. Sci. (Eng.), Acting Head of the Department of Construction Production; zhurtovartur@mail.ru

Adam A. Dzhanakulaev, Postgraduate Student, Department of building production; hejev_tolya@mail.ru

Rustam G. Radjabov, Senior Lecturer, Department of Architecture; yarus-x@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 21.12.2023.

Одобрена после рецензирования/ Revised 11.01.2024.

Принята в печать/Accepted for publication 11.01.2024.