



Воздействие высоких температур на физико-механические характеристики автоклавного газобетона

А.А. Баранова^{1✉}, Е.В. Егоров²

^{1,2}Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Россия

Аннотация. Цель работы – определить прочность при сжатии, линейные и объемные деформации автоклавного газобетона средней плотностью 600 кг/м³ после воздействия на него температур в диапазоне 100–800 °С. Пределы прочности при сжатии исследуемых образцов определялись на гидравлическом прессе ИП-100 в соответствии с государственным стандартом ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». Экспериментально установлено, что после выдерживания образцов газобетона при температуре 100 °С его прочность при сжатии увеличилась на 6,2 %, что связано с потерей избыточной влаги во время нагрева. Дальнейшее повышение температуры до 600 °С существенно не изменило его прочностную характеристику. При увеличении температуры испытания до 800 °С остаточная прочность при сжатии образцов составила в среднем 62,6 % от прочности контрольных образцов. Изменения линейных размеров образцов начинаются при температуре 300 °С и вплоть до температуры 600 °С они не превышают 1,56 % от первоначальных значений. Дальнейшее повышение температуры до 800 °С уменьшает линейные размеры газобетонных образцов до 15,15 %. Объемные деформации образцов автоклавного газобетона при 300–600 °С не превысили 5 %, а при 700–800 °С они составили 25–38,9 %. Исследуемый газобетон может выдерживать высокие температуры до 600 °С без значительных изменений своих физико-механических характеристик.

Ключевые слова: огнеупорность, высокие температуры, автоклавный газобетон, прочность при сжатии, линейные деформации, объемные деформации

Для цитирования: Баранова А.А., Егоров Е.В. Воздействие высоких температур на физико-механические характеристики автоклавного газобетона // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 46–55. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-46-55>. EDN: AIBDFG.

Original article

Effects of high temperatures on physico-mechanical characteristics of autoclaved aerated concrete

Albina A. Baranova^{1✉}, Evgeniy V. Egorov²

^{1,2}Angarsk State Technical University, Angarsk, Russia

Abstract. The study aims to determine the compressive strength, as well as linear and volumetric deformations of autoclaved aerated concrete with an average density of 600 kg/m³ after holding at temperatures in the range of 100–800 °C. The compressive strength of test samples was determined using an IP-100 hydraulic press in accordance with the state standard GOST 10180 “Concretes. Methods for determining the strength of control samples” State Standard. It was experimentally established that after holding aerated concrete samples at a temperature of 100 °C, its compressive strength increased by 6.2 %, which is associated with the loss of an excess moisture during heating. A further increase in the temperature to 600 °C insignificantly affects its strength characteristics. At an increase in the test temperature to 800 °C, the residual compressive strength of samples averaged 62.6 % of the control sample strength. Linear dimensions of samples begin to vary at a temperature of 300 °C and do not exceed 1.56 % of initial values up to a temperature of 600 °C. A further increase in the temperature to 800 °C

reduces the linear dimensions of aerated concrete samples by 15.15 %. Volumetric deformations of autoclaved aerated concrete samples in the temperature range of 300–600 °C are less than 5 %, while, for the temperature of 700–800 °C, they range from 25 % to 38.9 %. The studied aerated concrete can withstand high temperatures up to 600 °C without significant variations in its physical and mechanical characteristics.

Keywords: fire resistance, high temperatures, autoclaved aerated concrete, compressive strength, linear deformations, volumetric deformations

For citation: Baranova A.A., Egorov E.V. Effects of high temperatures on physico-mechanical characteristics of autoclaved aerated concrete. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):46-55. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-46-55>. EDN: AIBDFG.

ВВЕДЕНИЕ

Газобетон автоклавного твердения в зависимости от средней плотности широко используется как для изготовления ограждающих конструкций, так и для производства различных теплоизоляционных изделий, которые при эксплуатации могут подвергаться воздействию высоких температур, вызывающих снижение их несущей способности.

Воздействие высокой температуры может проявиться вследствие возникновения и развития пожара или в случаях устройства теплоизоляции при высокотемпературных технологических процессах. При этом снижение прочности и жесткости материала происходит из-за нарушения и изменения структуры затвердевшего портландцемента.

Научные разработки в области работы бетонов в экстремальных температурных режи-

мах активно ведутся многими исследователями [1–30].

Цель работы – определить влияние высоких температур на такие характеристики автоклавного газобетона, как прочность при сжатии, линейные и объемные деформации образцов.

МЕТОДЫ

В экспериментах использовались кубы с размером ребра 70 мм, выпиленные из блоков автоклавного газобетона средней плотностью 600 кг/м³.

Испытания проводились в следующей последовательности. Исследуемые образцы помещались в муфельную печь марки СНОЛ (рис. 1), постепенно нагревались до заданной температуры и выдерживались при ней в течение 4 ч с последующим медленным остыванием.



Рис. 1. Муфельная печь с образцами
Fig. 1. Muffle furnace with samples

Диапазон высоких температур составлял 100–800 °С. До и после испытания у каждого образца измерялись линейные размеры и масса.

Прочность при сжатии остывших после испытания образцов определялась в соответствии с ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам»¹.

Результаты испытаний представлены в таблице и на рис. 2–8.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты испытаний представлены в таблице и на рис. 2–8.

Характеристики образцов автоклавного газобетона после воздействия на них высоких температур
Characteristics of autoclaved aerated concrete samples after exposure to high temperatures

Температура, °С	Прочность при сжатии, МПа	Средняя плотность, кг/м ³	Потери массы образцов, %	Линейные деформации, %	Объемные деформации, %
0	2,9	586	0	0	0
100	3,08	504	19,1	0	0
200	2,96	492	25,7	0	0
300	3,47	485	26,2	0,55	1,65
400	2,84	476	30,1	0,93	2,76
500	2,73	474	31,9	1,27	3,76
600	2,95	473	33,4	1,56	4,6
700	1,67	599	35,5	9,26	25
800	1,96	724	36,1	15,15	38,9

Данные таблицы показывают, что после выдерживания образцов газобетона при температуре 100 °С прочность при сжатии увеличилась на 6,2 %, что связано с потерей избыточной влаги во время нагрева. Дальнейшее повышение температуры до 600 °С не существенно изменяет прочностную характеристику. При увеличении температуры испытания до

800 °С в связи с распадом гидроокиси кальция цементного камня происходит значительное снижение прочности, остаточная прочность при сжатии образцов составила в среднем 62,6 % от прочности контрольных образцов. После испытания образцов при 100–600 °С трещины и видимые дефекты на них не были обнаружены (рис. 2).

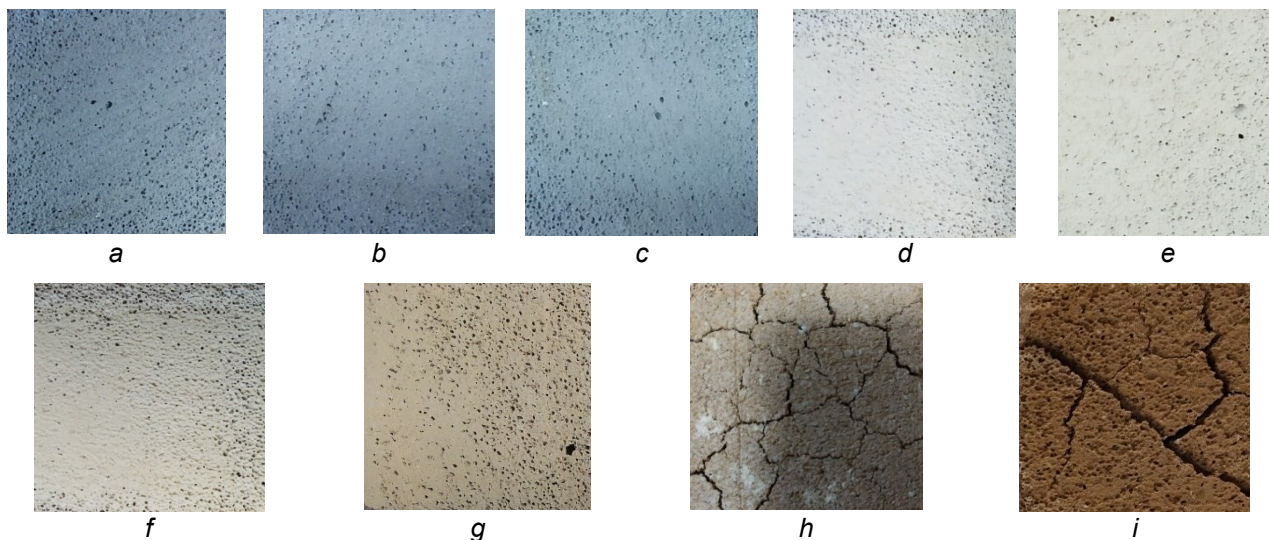


Рис. 2. Поверхность образцов автоклавных газобетонов при воздействии на них высоких температур:

a – контрольный образец; b – после 100 °С; c – после 200 °С; d – после 300 °С;

e – после 400 °С; f – после 500 °С; g – после 600 °С; h – после 700 °С; i – после 800 °С

Fig. 2. The surface of autoclaved aerated concrete samples after exposure to high temperatures:

a – control sample; b – after 100 °С; c – after 200 °С; d – after 300 °С;

e – after 400 °С; f – after 500 °С; g – after 600 °С; h – after 700 °С; i – after 800 °С

¹ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Стандартинформ, 2018. 32 с.

При увеличении температуры до 700–800 °С на образцах появляются глубокие трещины, нарушается их геометрия, появляются различного рода искривления, вздутия поверхности (рис. 3).

Зависимость прочности при сжатии газобетонных образцов ($R_{сж}$, МПа) от температуры нагрева в диапазоне воздействия 0–800 °С (рис. 4) имеет следующий вид:

$$R_{сж} = -0,000004 \cdot t^2 + 0,002 \cdot t + 2,9067, \quad (1)$$

где t – температура, °С.

Изменение средней плотности (ρ_m , кг/м³) газобетонных образцов под действием высоких температур в диапазоне 0–600 °С (рис. 5) описывается следующим уравнением:

$$\rho_m = 0,0005 \cdot t^2 - 0,4704 \cdot t + 569,88, \quad (2)$$

где t – температура, °С.



a



b

Рис. 3. Образцы после нагрева: а – до температуры 700 °С; б – до температуры 800 °С
Fig. 3. Samples after heating: a – to a temperature of 700 °С; b – to a temperature of 800 °С

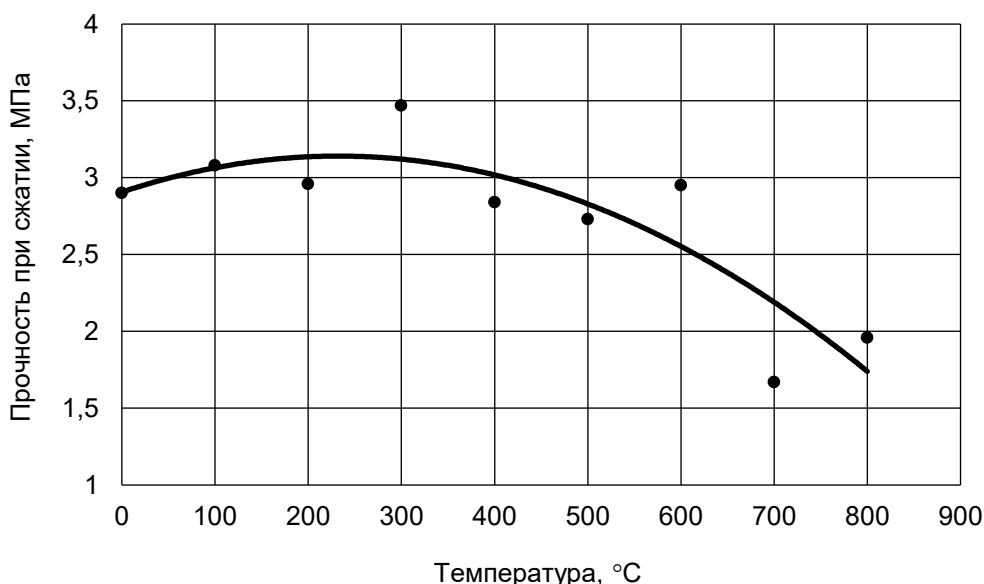


Рис. 4. Прочность при сжатии газобетонных образцов в зависимости от температуры испытания
Fig. 4. Compressive strength of aerated concrete samples depending on the test temperature

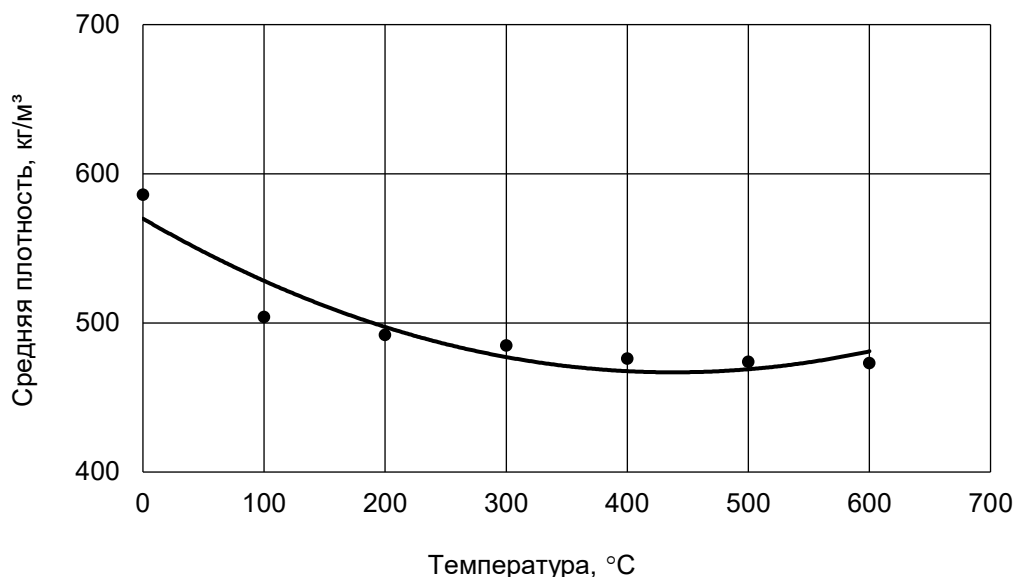


Рис. 5. Средняя плотность газобетонных образцов в зависимости от температуры испытания

Fig. 5. Average density of aerated concrete samples depending on the test temperature

График на рис. 6 показывает, что при нагреве до 800 °C образцы потеряли в массе до 36,1 %. По данным таблицы и по графику, изображенному на рис. 7, видно, что изменения линейных размеров образцов начинаются при 300 °C и до 600 °C они не превышают 1,56 % от первоначальных значений (до испытания).

При дальнейшем повышении температуры до 800 °C линейные размеры газобетонных образцов уменьшаются до 15,15 %.

Объемные деформации образцов автоклавного газобетона (см. рис. 8) начали проявляться при 300 °C. При 300–600 °C они не превысили 5 %, а при 700–800 °C объемные деформации составили 25–38,9 %.

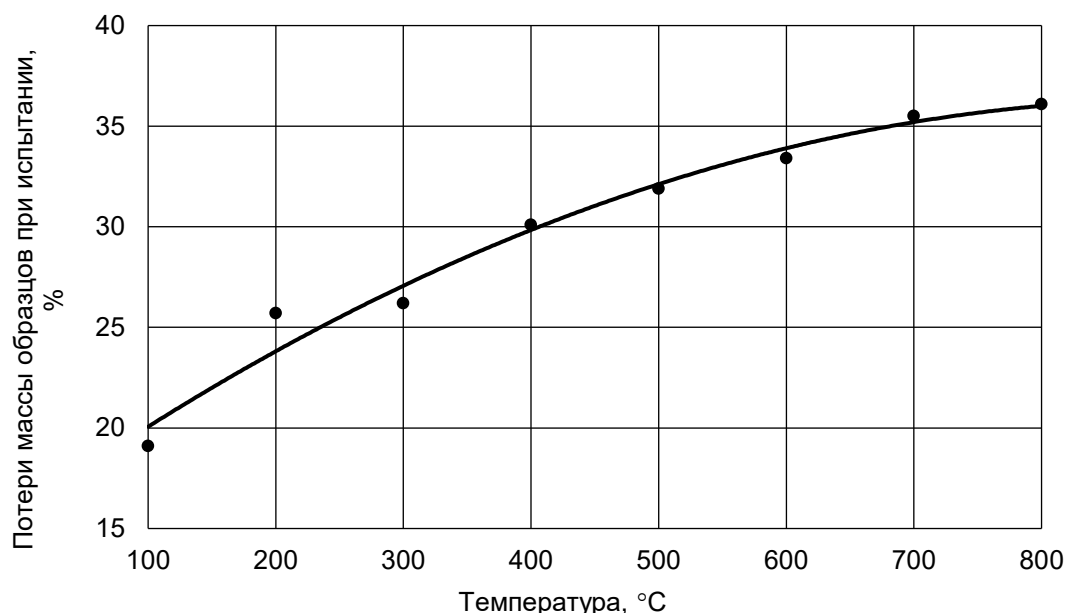


Рис. 6. Потери массы образцов автоклавного газобетона под действием высоких температур

Fig. 6. Mass loss of autoclaved aerated concrete samples under the influence of high temperatures

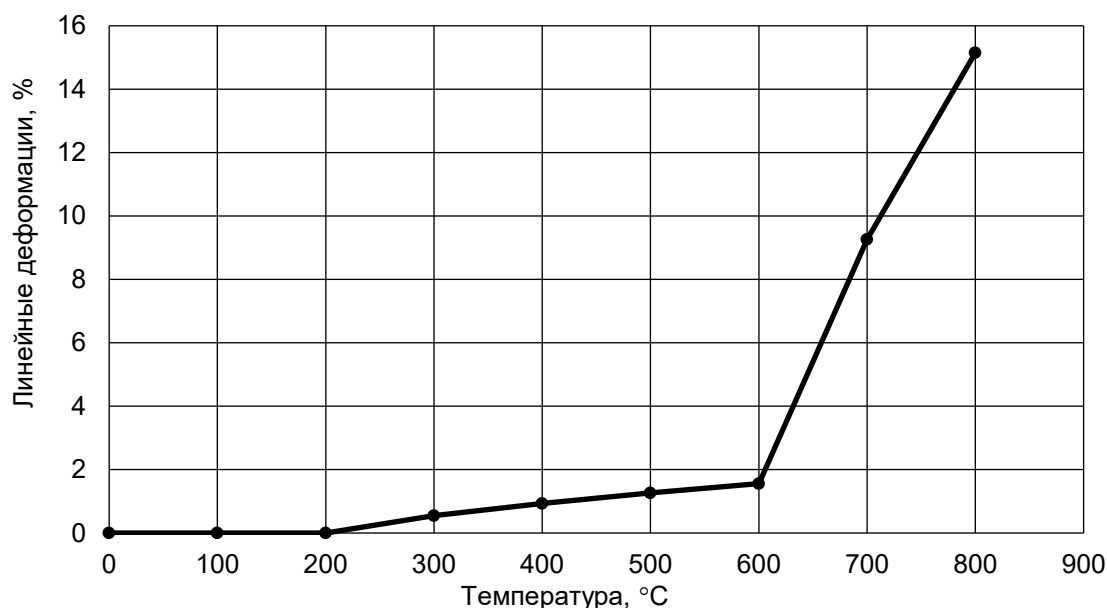


Рис. 7. Линейные деформации газобетонных образцов в зависимости от температуры испытания
Fig. 7. Linear deformations of aerated concrete samples depending on the test temperature

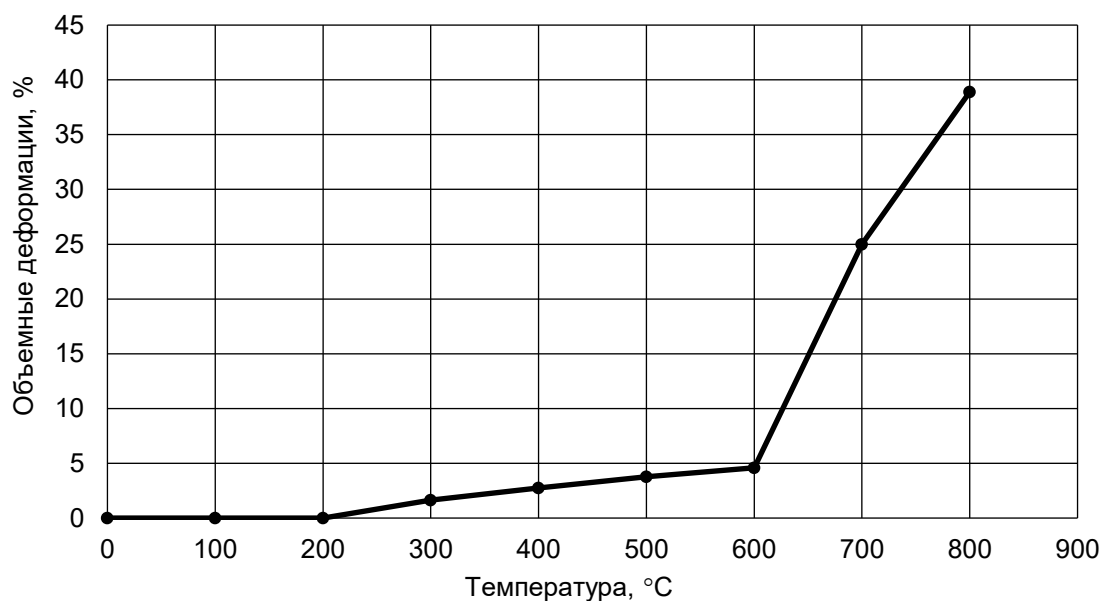


Рис. 8. Объемные деформации образцов автоклавного газобетона под действием высоких температур
Fig. 8. Volumetric deformations of autoclaved aerated concrete samples under the influence of high temperatures

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что автоклавный газобетон средней плотностью 600 кг/м³ может выдерживать температуру до 600 °C без существенной потери прочности при сжатии, при этом линейные деформации не превы-

шают 1,56 %, а объемные – 4,6 % от первоначальных значений.

По полученным результатам выведены математические выражения, позволяющие рассчитать предел прочности при сжатии автоклавного газобетона и его среднюю плотность в зависимости изменения температуры.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Upasiri I.R., Konthesingha K.M.C., Poologanathan K., Nanayakkara S.M.A., Nagaratnam B. Review on Fire Performance of Cellular Lightweight Concrete // Lecture notes in civil engineering. 2020. 44. P. 470–478.
2. Kodur V. Properties of concrete at elevated temperatures // International scholarly research notices. 2014. Vol. 2014. P. 468510. <https://doi.org/10.1155/2014/468510>.
3. Shin K.-Y., Kim S.-B., Kim J.-H., Chung M., Jung P.-S. Thermo-physical properties and transient heat transfer of concrete at elevated temperatures // Nuclear engineering and design. 2002. Vol. 212. Iss. 1-3. P. 233–241. [https://doi.org/10.1016/S0029-5493\(01\)00487-3](https://doi.org/10.1016/S0029-5493(01)00487-3).
4. Khaliq W., Kodur V. High temperature mechanical properties of high-strength fly ash concrete with and without fibers // ACI Materials Journal. 2012. Vol. 109. Iss. 6. P. 665–674. <https://doi.org/10.14359/51684164>.
5. Kalifa P., Chéné G., Gallé C. High-temperature behaviour of HPC with polypropylene fibres - From spalling to microstructure // Cement and concrete research. 2001. Vol. 31. Iss. 10. P. 1487–1499. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00596-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00596-8).
6. Kodur V.K.R., Sultan M.A. Effect of temperature on thermal properties of high-strength concrete // Journal of materials in civil engineering. 2003. Vol. 15. Iss. 2. P. 101–107. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2003\)15:2\(101\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2003)15:2(101)).
7. Kodur V., Khaliq W. Effect of temperature on thermal properties of different types of high-strength concrete // Journal of Materials in Civil Engineering. 2011. Vol. 23. Iss. 6. P. 793–801. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000225](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000225).
8. Canbaz M., Dakman H., Arslan B., Büyüksungur A. The effect of high-temperature on foamed concrete // Computers and Concrete. 2019. Vol. 24. Iss. 1. P. 1–6. <https://doi.org/10.12989/cac.2019.24.1.001>.
9. Al Saffar D.M., Al Quraishy Q.A. Strength of lightweight aggregate foamed concrete exposed to elevated temperatures // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. Vol. 13. Iss. 12. P. 3880–3886.
10. Othuman Mydin M.A., Wang Y.C. Thermal and mechanical properties of lightweight foamed concrete at elevated temperatures // Magazine of concrete research. 2012. Vol. 64. Iss. 3. P. 213–224. <https://doi.org/10.1680/mac.10.00162>.
11. Li Long-yuan, Purkiss J. Stress-strain constitutive equations of concrete material at elevated temperatures // Fire Safety Journal. 2005. Vol. 40. Iss. 7. P. 669–686. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2005.06.003>.
12. Othuman Mydin M.A. Lightweight foamed concrete thermal and mechanical properties at elevated temperatures and its application to composite walling system. School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, 2010. 281 p.
13. Khoury G.A. Compressive strength of concrete at high temperatures: A reassessment // Magazine of Concrete Research. 1992. Vol. 44. Iss. 161. P. 291–309. <https://doi.org/10.1680/mac.1992.44.161.291>.
14. Rostásy F.S., Weiß R., Wiedemann G. Changes of pore structure of cement mortars due to temperature // Cement and concrete research. 1980. Vol. 10. Iss. 2. P. 157–164. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(80\)90072-1](https://doi.org/10.1016/0008-8846(80)90072-1).
15. Lin Wei-ming, Lin T., Powers-Couche L. Microstructures of fire-damaged concrete // ACI Materials Journal. 1996. Vol. 93. Iss. 3. P. 199–205. <https://doi.org/10.14359/9803>.
16. Киценко Т.П., Мартынова В.Б., Кабанцова А.Р. Исследование огнеупорности и показателей температуры деформации под нагрузкой алюмосиликатных и кремнеземистых бетонов на основе жидкого стекла // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2016. № 1 (117). С. 40–44. EDN: YFMJRH.
17. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Жаростойкий бетон на основе ортофосфорной кислоты, отходов цветной металлургии и химической промышленности // Construction and Geotechnics. 2021. Т. 12. № 1. С. 72–85. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2021.1.06>. EDN: EXRMRG.
18. Жугинисов М.Т., Мырзахметов М.М., Сартаев Д.Т., Орынбеков Е.С. Жаростойкий бетон на основе феррохромового шлака // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 7 (51). С. 38–45. <https://doi.org/10.5862/MCE.51.5>. EDN: SYSMUR.
19. Курбанов Р.М., Хаджишалапов Г.Н., Жежев Т.А. Исследование жаростойкого бетона на основе базальтового заполнителя для обетонирования металлических конструкций // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2013. № 4 (31). С. 61–65. EDN: RWASFR.
20. Хлыстов А.И., Исаев Д.И., Подгорная Д.А. Жаростойкие композиции на основе отходов предприятий керамической промышленности // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8. № 4 (33). С. 56–60. <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2018.04.10>. EDN: YXJKEH.

21. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Использование отходов цветной металлургии в производстве жаростойкого бетона на основе фосфорной кислоты // Химическая технология. 2021. Т. 22. № 5. С. 214–222. <https://doi.org/10.31044/1684-5811-2021-22-5-214-222>. EDN: XFULOU.
22. Ефремов А.Н., Киценко Т.П. Методологические основы повышения термомеханических свойств огнеупорных вяжущих и бетонов на основе жидкого стекла // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2016. № 3 (119). С. 27–31.
23. Нгуен Т.К., Кудряшов В.А. Огнестойкость автоклавного ячеистого бетона на основе экспериментальных диаграмм деформирования после высокотемпературного нагрева // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2016. № 2 (24). С. 10–19. EDN: WEZNNR.
24. Соколова С.В., Баранова М.Н., Васильева Д.И., Холопов Ю.А. Перспективы применения промышленных отходов для повышения долговечности и огнеупорности жаростойких бетонов // Строительство и реконструкция. 2023. № 2 (106). С. 123–133. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-106-2-123-133>. EDN: ANWVDP.
25. Upasiri I.R., Konthesingha K.M.C., Poologanathan K., Nanayakkara S.M.A., Nagaratnam B. Review on fire performance of cellular lightweight concrete // International Conference on Sustainable Built Environment (ICSBE-2018). Singapore. Springer, 2018. Vol. 44, https://doi.org/10.1007/978-981-13-9749-3_41.
26. Awoyera P., Onoja E., Adesina A. Fire resistance and thermal insulation properties of foamed concrete incorporating pulverized ceramics and mineral admixtures // Asian Journal of Civil Engineering. 2020. Vol. 21. P. 147–156. <https://doi.org/10.1007/s42107-019-00203-4>.
27. Lu Feng, Xudong Chen, Yingjie Ning, Jiajia Wang, Wei Zhang. High temperature effect of foamed concrete under equal displacement increment triaxial cyclic compression // Construction and Building Materials. 2022. Vol. 327. P. 126989. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126989>.
28. Dawood E.Th., Al-Attar A.A., Abbas W.A., Mohammad Ya.Z. Behavior of foamed concrete reinforced with hybrid fibers and exposed to elevated temperatures // SN Applied Sciences. 2020. Vol. 2. P. 84 <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1856-7>.
29. Jun Xian Tan, Weizhong Chen, Jiahong Wang, Diansen Yang, Xianyin Qi, Yongshang Ma, et al. Influence of high temperature on the residual physical and mechanical properties of foamed concrete // Construction and building materials. 2017. Vol. 135. P. 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.223>.
30. Chen Longyang, Li Penghui, Guo W.G., Ruifeng Wang, Dongjian Zh., Gao M., et al. Experimental investigation of the dynamic mechanical properties of polypropylene-fiber-reinforced foamed concrete at high temperatures // Polymers. 2023. Vol. 15. Iss. 11. P. 2544. <https://doi.org/10.3390/polym15112544>.

REFERENCES

1. Upasiri I.R., Konthesingha K.M.C., Poologanathan K., Nanayakkara S.M.A., Nagaratnam B. Review on Fire Performance of Cellular Lightweight Concrete. *Lecture notes in civil engineering*. 2020;44:470-478.
2. Kodur V. Properties of concrete at elevated temperatures. *International scholarly research notices*. 2014;2014:468510. <https://doi.org/10.1155/2014/468510>.
3. Shin K.-Y., Kim S.-B., Kim J.-H., Chung M., Jung P.-S. Thermo-physical properties and transient heat transfer of concrete at elevated temperatures. *Nuclear engineering and design*. 2002;212(1-3):233-241. [https://doi.org/10.1016/S0029-5493\(01\)00487-3](https://doi.org/10.1016/S0029-5493(01)00487-3).
4. Khaliq W., Kodur V. High temperature mechanical properties of high-strength fly ash concrete with and without fibers. *ACI Materials Journal*. 2012;109(6):665-674. <https://doi.org/10.14359/51684164>.
5. Kalifa P., Chéné G., Gallé C. High-temperature behaviour of HPC with polypropylene fibres - From spalling to microstructure. *Cement and concrete research*. 2001;31(10):1487-1499. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00596-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00596-8).
6. Kodur V.K.R., Sultan M.A. Effect of temperature on thermal properties of high-strength concrete. *Journal of materials in civil engineering*. 2003;15(2):101-107. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2003\)15:2\(101\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2003)15:2(101)).
7. Kodur V., Khaliq W. Effect of temperature on thermal properties of different types of high-strength concrete. *Journal of materials in civil engineering*. 2011;23(6):793-801. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000225](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000225).
8. Canbaz M., Dakman H., Arslan B., Büyüksungur A. The effect of high-temperature on foamed concrete. *Computers and concrete*. 2019;24(1):1-6. <https://doi.org/10.12989/cac.2019.24.1.001>.
9. Al Saffar D.M., Al Quraishy Q.A. Strength of lightweight aggregate foamed concrete exposed to elevated temperatures. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019;13(12):3880-3886.
10. Othuman Mydin M.A., Wang Y.C. Thermal and mechanical properties of lightweight foamed concrete at elevated temperatures. *Magazine of concrete research*. 2012;64(3):213-224. <https://doi.org/10.1680/mac.10.00162>.

11. Li Long-yuan, Purkiss J. Stress-strain constitutive equations of concrete material at elevated temperatures. *Fire Safety Journal*. 2005;40(7):669-686. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2005.06.003>.
12. Othuman Mydin M.A. Lightweight foamed concrete thermal and mechanical properties at elevated temperatures and its application to composite walling system. School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering; 2010. 281 p.
13. Khoury G.A. Compressive strength of concrete at high temperatures: A reassessment. *Magazine of Concrete Research*. 1992;44(161):291-309. <https://doi.org/10.1680/mac.1992.44.161.291>.
14. Rostásy F.S., Weiß R., Wiedemann G. Changes of pore structure of cement mortars due to temperature. *Cement and concrete research*. 1980;10(2):157-164. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(80\)90072-1](https://doi.org/10.1016/0008-8846(80)90072-1).
15. Lin Wei-ming, Lin T., Powers-Couche L. Microstructures of fire-damaged concrete // *ACI Materials Journal*. 1996. Vol. 93. Iss. 3. P. 199–205. <https://doi.org/10.14359/9803>.
16. Kitsenko T., Martynova V., Kabansova A. The study of fire resistance and temperature deformation under load of alumina-silicate and siliceous concretes on the basis of liquid glass. *Vestnik Donbasskoi nacionalnoi akademii stroitelstva i arhitektury = Proceeding of the Donbas national academy of civil engineering and architecture*. 2016;1:40-44. (In Russ.). EDN: YFMJRH.
17. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Heat-resistant concrete based on orthophosphoric acid, waste of non-ferrous metallurgy and chemical industry. *Construction and Geotechnics*. 2021;12(1):72-85. (In Russ.). <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2021.1.06>. EDN: EXMRMG.
18. Zuginisov M.T., Myrzahmetov M.M., Sartayev D.T., Orynbekov E.S. Heat-resistant ferrochrome slag based concrete. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal = Magazine of civil engineering*. 2014;7:38-45. (In Russ.). <https://doi.org/10.5862/MCE.51.5>. EDN: SYSMUR.
19. Curbanov R.M., Hadgishalapov G.N., Hegev T.A. Research of heat-resistant concrete on the basis of basalt filler for concreting of metal designs. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2013;4:61-65. (In Russ.). EDN: RWASFR.
20. Khlystov A.I., Isaev D.I., Podgornaya D.A. Heat-resistant compositions based on waste from ceramic industry enterprises. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura = Urban construction and architecture*. 2018;8(4):56-60. (In Russ.). <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2018.04.10>. EDN: YXJKEH.
21. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. The use of non-ferrous metallurgy waste in the production of heat-resistant concrete based on phosphoric acid. *Khimicheskaya tekhnologiya = Chemical technology*. 2021;22(5):214-222. (In Russ.). <https://doi.org/10.31044/1684-5811-2021-22-5-214-222>. EDN: XFULOU.
22. Yefremov O.I., Kitsenko T.I. Methodological basis for the improvement of thermomechanical properties of refractory binders and concretes based on liquid glass. *Vestnik Donbasskoi nacionalnoi akademii stroitelstva i arhitektury = Proceeding of the Donbas national academy of civil engineering and architecture*. 2016;3:27-31. (In Russ.). EDN: YQPLDF.
23. Nguyen T.K., Kudryashov V.A. Autoclaved aerated concrete fire resistance based on stress-strain diagrams after high heating. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*. 2016;2:10-19. (In Russ.). EDN: WEZNNR.
24. Sokolova S.V., Baranova M.N., Vasilieva D.I., Kholopov Yu.A. Possibilities of using industrial waste to improve heat resistant concrete durability and refractoriness. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya = Building and reconstruction*. 2023;2:123-133. (In Russ.). <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-106-2-123-133>. EDN: ANWVDP.
25. Upasiri I.R., Konthesingha K.M.C., Poologanathan K., Nanayakkara S.M.A., Nagarathnam B. Review on fire performance of cellular lightweight concrete. *International Conference on Sustainable Built Environment (ICSBE-2018)*. Singapore. Springer; 2018. Vol. 44, https://doi.org/10.1007/978-981-13-9749-3_41.
26. Awoyera P., Onoja E., Adesina A. Fire resistance and thermal insulation properties of foamed concrete incorporating pulverized ceramics and mineral admixtures. *Asian Journal of Civil Engineering*. 2020;21:147-156. <https://doi.org/10.1007/s42107-019-00203-4>.
27. Lu Feng, Xudong Chen, Yingjie Ning, Jiajia Wang, Wei Zhang. High temperature effect of foamed concrete under equal displacement increment triaxial cyclic compression. *Construction and Building Materials*. 2022;327:126989. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126989>.
28. Dawood E.Th., Al-Attar A.A., Abbas W.A., Mohammad Ya.Z. Behavior of foamed concrete reinforced with hybrid fibers and exposed to elevated temperatures. *SN Applied Sciences*. 2020;2:84 <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1856-7>.
29. Jun Xian Tan, Weizhong Chen, Jiahong Wang, Diansen Yang, Xianyin Qi, Yongshang Ma, et al. Influence of high temperature on the residual physical and mechanical properties of foamed concrete. *Construction and building materials*. 2017;135:203-211. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.223>.
30. Chen Longyang, Li Penghui, Guo W.G., Ruifeng Wang, Dongjian Zh., Gao M., et al. Experimental investigation of the dynamic mechanical properties of polypropylene-fiber-reinforced foamed concrete at high temperatures. *Polymers*. 2023;15(11):2544. <https://doi.org/10.3390/polym15112544>.

Информация об авторах

Баранова Альбина Алексеевна,
к.т.н., доцент,
доцент кафедры промышленного
и гражданского строительства,
Ангарский государственный
технический университет,
665835, г. Ангарск, кв-л 85а, д. 5, Россия,
✉e-mail: baranova2012aa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5939-3334>
Author ID: 680451

Егоров Евгений Владимирович,
ассистент кафедры промышленного
и гражданского строительства,
Ангарский государственный
технический университет,
665835, г. Ангарск, кв-л 85а, д. 5, Россия,
e-mail: Evgeniy.som@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2843-6917>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 30.11.2023.
Одобрена после рецензирования 22.12.2023.
Принята к публикации 28.12.2023.

Information about the authors

Albina A. Baranova,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Industrial and Civil Engineering,
Angarsk State
Technical University,
5, 85a district, Angarsk 665835, Russia,
✉e-mail: baranova2012aa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5939-3334>
Author ID: 680451

Evgeniy V. Egorov,
Assistant of the Department of Industrial
and Civil Engineering,
Angarsk State
Technical University,
5, 85a district, Angarsk 665835, Russia,
e-mail: Evgeniy.som@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2843-6917>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 30.11.2023.
Approved after reviewing 22.12.2023.
Accepted for publication 28.12.2023.