

Конструкционно-теплоизоляционный цементный пенобетон с применением комплексной добавки на основе глиоксаля

Алексей Борисович Стешенко^{1*} , Анна Сергеевна Симакова¹ , Александр Сергеевич Иноземцев² ,
Сергей Сергеевич Иноземцев² 

¹ Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия

² Национальный исследовательский университет Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: steshenko.alexey@gmail.com

АННОТАЦИЯ: Введение. В данной статье приведены результаты исследования влияния комплексной добавки на основе глиоксаля на свойства цементной пенобетонной смеси и пенобетона естественного твердения. Актуальность данной статьи представлена необходимостью обеспечения требуемых технологических параметров смеси для транспортирования и укладки в форму, а также обеспечения прочностных теплофизических характеристик стеновых конструкций для развития северных регионов России, в том числе Арктической зоны. Авторами было предложено снизить усадочные деформации в пенобетонной смеси и повысить прочность на сжатие затвердевшего пенобетона путем введения в цементную матрицу комплексной добавки на основе глиоксаля. **Материалы и методы.** Исследование влияния модифицирующих добавок на свойства пенобетонной смеси и пенобетона проводилось на смесях с водотвердым отношением, равным 0,45. Исследование проводилось с применением методик, указанных в национальных стандартах. Представлены результаты влияния комплексных модифицирующих добавок на основе глиоксаля и органических солей на реологические и прочностные свойства, а также установлены закономерности и механизм структурообразования модифицированного пенобетона. **Результаты.** Применение модифицирующих добавок приводит к повышению агрегативной стабильности и снижению пластической усадки пенобетонной смеси на 22–70%. При введении комплексной добавки LA 0,5% + GI 0,55% в пенобетонную смесь прочность на сжатие повышается с 1,96 до 2,43 МПа в возрасте 28 суток при сохранении марки по средней плотности D600. Коэффициент теплопроводности модифицированного пенобетона с применением добавок снижается на 5–30; в сравнении с контрольным составом. **Выводы.** Полученные результаты создают основу для импортозамещения модифицирующих добавок на отечественной минерально-сырьевой базе в строительной отрасли и производства эффективных конструкционно-теплоизоляционных бетонов для развития северных регионов России.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: глиоксаль, структурообразование, модифицирующие добавки, пенобетон, пористая структура, пластическая усадка, прочность на сжатие, средняя плотность, коэффициент теплопроводности.

БЛАГОДАРНОСТИ: Исследование выполнено при финансовой поддержке НИУ МГСУ в рамках конкурса 2022 года на проведение фундаментальных и прикладных исследований (НИР/НИОКР) научными коллективами организаций – членов Отраслевого консорциума «Строительство и архитектура» (договор № 8/К от 27.05.2022) в целях исполнения Программы развития НИУ МГСУ на 2021–2030 годы в рамках реализации Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Стешенко А.Б., Симакова А.С., Иноземцев А.С., Иноземцев С.С. Конструкционно-теплоизоляционный цементный пенобетон с применением комплексной добавки на основе глиоксаля // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 5. С. 353–362. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-5-353-362>. – EDN: LTNLIO.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Mestnikov A.E., Popov A.L. Efficiency of using lightweight concrete in the construction of buildings and underground structures in the arctic. *Digital Technologies in Construction Engineering. Selected Papers. Ser. "Lecture Notes in Civil Engineering"*. 2022; 173: 391–398. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8_49.

© Стешенко А.Б., Симакова А.С., Иноземцев А.С., Иноземцев С.С., 2022

2. Ilina L., Kudyakov A., Rakov M. Aerated dry mix concrete for remote northern territories. *Magazine of Civil Engineering*. 2022; 5(113): 11310. <https://doi.org/10.34910/MCE.113.10>.
3. Markin V., Nerella V.N., Schröfl C., Guseynova G., Mechtcherine V. Material design and performance evaluation of foam concrete for digital fabrication. *Materials*. 2019; 12: 2433. <https://doi.org/10.3390/ma12152433>.
4. Namsone E., Šahmenko G., Namsone E., Korjakins A. Development of high-strength foamed concrete compositions. *Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena*. 320: 186–190. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.320.186>.
5. Steshenko A.B., Kudyakov A.I. Early structure formation of foam concrete mix containing modifying admixture. *Magazine of Civil Engineering*. 2015; 2: 56–62. <https://doi.org/10.5862/MCE.54.6>.
6. Lam T.V., Dien V.K., Hung N.X., Vu D.T., Bulgakov B.I., Alexandrova O.V. Modelling of the effect of the water-cement ratios on properties foam concrete. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*. 2019; 1425: 012189. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1425/1/012189>.
7. Inozemtcev A.S., Korolev E.V., Smirnov V.A. Nanoscale modifier as an adhesive for hollow microspheres to increase the strength of high-strength lightweight concrete. *Structural Concrete*. 2017; 18(1): 67–74. <https://doi.org/10.1002/suco.201500048>.
8. Dien V.K., Ly N.C., Lam T.V., Bazhenova S.I. Foamed concrete containing various amounts of organic-mineral additives. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*. 2019; 1425: 012199. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1425/1/012199>.
9. Kudyakov A.I., Steshenko A.B., Simakova A.S., Latypov A.D. Methods of introduction of glyoxal-containing additives into foam concrete mixture. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 597: 012037. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/597/1/012037>.
10. Khalikov R.M., Ivanova O.V., Korotkova L.N., Sinitin D.A. Supramolecular impact mechanism of polycarboxylate superplasticizers on controlled hardening building nanocomposites. *Nanotechnologies in Construction*. 2020; 12(5): 250–255. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-5-250-255>.
11. Korolev E.V., Grishina A.N., Inozemtcev A.S., Ayzenshtadt A.M. Study of the kinetics structure formation of cement dispersed systems. Part I. *Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal*. 2022; 14(3): 176–189. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-3-176-189>.
12. Kopanitsa N.O., Demyanenko O.V., Kulikova A.A. Effective polyfunctional additive for composite materials based on cement. *Digital Technologies in Construction Engineering. Selected Papers. Ser. "Lecture Notes in Civil Engineering"*. 2022; 173: 125–131. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8_17.
13. Kudyakov A.I., Steshenko A.B. Investigation of the influence of the crystalline glyoxal on properties of air hardened cement-based foam concrete. *Letters on Materials*. 2015; 5(1): 3–6. <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2015-1-3-6>.
14. Kudyakov A.I., Steshenko A.B. Study of hardened cement paste with crystalline glyoxal. *Key Engineering Materials: Multifunctional Materials: Development and Application*. 2016; 683: 113–117. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.683.113>.
15. Gandon L., Lehmann R.L., Marcheguet H.G.L., Tarbouriech F.P.M. *Production of new compositions from glyoxal and alkali metal silicates*. 1957; US Patent № 3028340.
16. Sokolova Y., Ayzenshtadt A.M., Strokova V.V., Malkov V.S. Surface tension determination in glyoxal-silica dispersed system. *Journal of Physics Conference Series*. 2018; 1038(1): № 01214. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1038/1/012141>.
17. Sokolova Y., Ayzenshtadt A.M., Strokova V.V. Evaluation of dispersion interaction in glyoxal/silica organomineral system. *Journal of Physics Conference Series*. 2017; 929(1): 012110. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/929/1/012110>.
18. Simakova A., Kudyakov A., Efremova V., Latypov A. The effects of complex glyoxal based modifiers on properties of cement paste and hardened cement paste. *AIP Conference Proceedings*. 2017; 1800: 020006. <https://doi.org/10.1063/1.4973022>.
19. Kudyakov A.I., Simakova A.S., Steshenko A.B. Cement based compositions with complex modifying additives based on glyoxal. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18(6): 760–771. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-760-771>.
20. Gorlenko N.P., Sarkisov Yu.S., Volkova V.A., Kul'chenko K. Structurization processes in the system cement–water with chemical addition of glyoxal. *Russian Physics Journal*. 2014; № 57 (2): 278–284. <https://doi.org/10.1007/s11182-014-0236-4>.
21. Kudyakov A.I., Simakova A.S., Kondratenko V.A., Steshenko A.B., Latypov A.D. Cement paste and brick properties modified by organic additives. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2018; 20(6): 138–147. (In Russian).
22. Hazra M., Francisco J., Sinha A. Hydrolysis of glyoxal in in water-restricted environments: formation of organic aerosol precursors through formic acid catalysis. *The Journal of Physical Chemistry A*. 2014; 118: 4095–4105.

23. Fratzke A.R., Reilly P.J. Kinetic analysis of the disproportionation of aqueous glyoxal. *IJCK*. 1986; 18: 757–773.
24. Salomaa P. The kinetics of the Cannizzaro reaction of glyoxal. *Acta Chemica Scandinavica*. 1956; 10(2): 311–319.
25. Maruful Malik, Jeffrey A. Joens. Temperature dependent near-UV molar absorptivities of glyoxal and gluteraldehyde in aqueous solution. *Elsevier. Spectrochimica Acta Part A*. 2000; 56: 2653–2658. [https://doi.org/10.1016/S1386-1425\(00\)00311-5](https://doi.org/10.1016/S1386-1425(00)00311-5).
26. Ge Yu., Amanda R. Bayer, Melissa M. Galloway, Kyle J. Korshavn, Charles G. Fry, and Frank N. Keutsch. Glyoxal in aqueous ammonium sulfate solutions: products, kinetics and hydration effects. *Environmental science and technology*. 2011; 45(15): 6336–6342. <https://doi.org/10.1021/es200989n>.
27. Kurten T., Elm J., Prisle N., Mikkelsen K. Computation study of the effect of glyoxal-sulfate clustering on the Henry's law coefficient of glyoxal. *The Journal of Physical Chemistry A*. 2015; 119 (19): 4509–4514. <https://doi.org/10.1021/jp510304c>.
28. Kirsten W. Loeffler, Charles A. Koehler, Nichole M. Paul, David O. De Haan. Oligomer formation in evaporating aqueous glyoxal and methyl glyoxal solutions. *Environ. Sci. Technol.* 2006; 40: 6318–6323. <https://doi.org/10.1021/es060810w>.
29. Avzianova E., Brooks S.D. Raman spectroscopy of glyoxal oligomers in aqueous solutions. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2013; 101: 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2012.09.050>.
30. Markus G. *Measuring the early shrinkage of mortars drymix mortar*. Yearbook 2011. Editor: Ferdinand Leopolder; 2011.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Штешенко Алексей Борисович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных материалов и технологий, Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия, steshenko.alexey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2468-3147>

Симакова Анна Сергеевна – начальник научного управления, Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия, ushakova.anutka@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0859-5224>

Иноземцев Александр Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник Научно-образовательного центра «Наноматериалы и нанотехнологии», Национальный исследовательский университет Московский государственный строительный университет, Москва, Россия, InozemcevAS@mgsu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7807-688X>

Иноземцев Сергей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, Национальный исследовательский университет Московский государственный строительный университет, Москва, Россия, inozemtsevss@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2965-0846>

ВКЛАД АВТОРОВ

Авторы внесли равный вклад в эту статью.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 02.09.2022; одобрена после рецензирования 26.09.2022; принята к публикации 30.09.2022.