

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2025. Т. 27. № 3. С. 220–231.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2025; 27 (3): 220–231.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.327.32

DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-3-220-231

EDN: XGMNGB

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННО-КОНСТРУКЦИОННЫЙ ПОЛИСТИРОЛБЕТОН, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ДИСПЕРСНЫМ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИМ ШЛАМОМ

Андрей Владимирович Углыница¹, Александр Иванович Кудяков²,
Владимир Борисович Дуваров¹

¹Кузбасский государственный технический университет
им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия

²Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия

Аннотация. Актуальность. Важной задачей в индивидуальном жилищном строительстве является выбор стенового материала. Полистиролбетон является одним из наиболее эффективных стеновых материалов в малоэтажном строительстве. Улучшение свойств полистиролбетона позволит повысить эффективность индивидуального жилищного строительства.

Цель работы. Повышение физико-механических свойств полистиролбетона за счёт введения комплексной добавки железосодержащего шлама и «Бенотех ПМП-1».

Результаты. Разработаны составы полистиролбетона марки по средней плотности D300 с комплексной добавкой железосодержащего шлама и «Бенотех ПМП-1» с повышенной прочностью на сжатие 1,51 МПа без увеличения теплопроводности.

Ключевые слова: полистиролбетон, портландцемент, активные минеральные добавки, противоморозные добавки, прочность на сжатие, цементное тесто, структурообразование, твердение

Для цитирования: Углыница А.В., Кудяков А.И., Дуваров В.Б. Теплоизоляционно-конструкционный полистиролбетон, модифицированный дисперсным железосодержащим шламом // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 3. С. 220–231. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-3-220-231. EDN: XGMNGB

ORIGINAL ARTICLE

HEAT-INSULATING STRUCTURAL POLYSTYRENE CONCRETE MODIFIED WITH DISPERSED IRON-CONTAINING SLUDGE

Andrei V. Uglyanitsa¹, Aleksandr I. Kudiyakov², Vladimir B. Duvarov¹

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia

²Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. An important task in individual housing construction is the wall material. Polystyrene concrete is one of the most effective wall materials in low-rise construction. The prop-

erty improvement of polystyrene concrete increases the efficiency of individual housing construction.

Purpose: The aim of this work is to improve physical and mechanical properties of polystyrene concrete through the addition of the complex additive of iron-containing sludge and Benotekh PMP-1.

Research findings: Polystyrene concrete compositions with the average density D300 are proposed with the complex addition of iron-containing sludge and Benotekh PMP-1 with the increased compressive strength of 1.51 MPa without increasing thermal conductivity.

Keywords: polystyrene concrete, Portland cement, active mineral additives, anti-freeze additives, compressive strength, cement paste, structure formation, hardening

For citation: Uglyanitsa A.V., Kudyakov A.I., Duvarov V.B. Heat-Insulating Structural Polystyrene Concrete Modified with Dispersed Iron-Containing Sludge. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (3): 220–231. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-3-220-231. EDN: XGMNGB

Введение

Проблемы обеспечения населения жильём и объектов строительства ресурсами являются актуальными в России. В национальном проекте «Жильё и городская среда» предусматривается существенное увеличение темпов жилищного строительства. При этом большое внимание уделяется объектам индивидуального жилищного строительства (ИЖС), объём которого планируется увеличить до 40 млн м² в год. Рост доли ИЖС в общем объёме строительства в Сибирском регионе составит более 40 %. Для успешной реализации поставленных задач необходимо разработать комплекс технических и технологических мероприятий по индивидуальному жилищному строительству [1–6].

При строительстве индивидуального жилья большое внимание уделяется обоснованию и выбору стенового материала. Правильно подобранный стеновой материал позволяет существенно сократить расходы на строительство здания и его эксплуатацию в течение отопительного периода. Одним из эффективных стеновых материалов в зданиях является теплоизоляционно-конструкционный полистиролбетон – композиционный материал, близкий по своему функциональному назначению пенобетонам [7–12]. Матрицей в данном материале является цементный камень, а заполнителем, формирующим преимущественно замкнутые поры в цементном камне, – гранулы сверхлегкого пенополистирола.

Полистиролбетон обладает сравнительно низкой прочностью на сжатие, что сдерживает его применение в качестве конструктивно-теплоизоляционного стенового строительного материала. Свойства полистиролбетона существенно зависят от структуры и свойств цементного камня [13–21]. Используя технологические приемы повышения прочности цементного камня путем введения активных дисперсных или волокнистых минеральных или органических добавок, можно повысить прочность и эксплуатационные свойства полистиролбетона [22–28]. Однако эти модифицирующие добавки обладают высокой стоимостью, что повышает цену изготавливаемых изделий.

На химических предприятиях России образуются большие объёмы токсичных отходов в виде дисперсных шламов отработанных катализаторов. Минстрой России большое внимание уделяет комплексному использованию

вторичного сырья для ресурсного обеспечения объектов строительства. Предполагается, что объем применения побочных продуктов к 2030 г. достигнет 40 %. В связи с этим исследования по установлению закономерностей структурообразования цементной матрицы и полистиролбетона с добавкой железосодержащего дисперсного шлама, отхода отработанных производственных катализаторов, в производстве цементных стеновых материалов для строительства объектов в условиях Сибири являются актуальными.

Сырьевые материалы и методы исследования

При проведении экспериментальных исследований использовались:

- портландцемент ООО «Топкинский цемент» типа ЦЕМ I, класса по прочности 42,5Н (ГОСТ 31108–2020);
- вспененный гранулированный полистирол (пенополистирол) (ГОСТ 33929–2016, ТУ 2214-019-53505711–2010): насыпная плотность – 15 кг/м³, размер зерен – менее 5 мм;
- железосодержащий шлам отработанных катализаторов, отход производства химических веществ КАО «Азот», г. Кемерово. Химический состав и свойства шлама приведены в табл. 1 и 2. Шлам высушивали при температуре 105 °С и измельчали до остатка на сите № 008 – 15 %;
- смола древесная омыленная SDO-L (ТУ-2453-013-10644738–00);
- противоморозная добавка «Бенотех ПМП-1» (ТУ 5870-001-56025130–01);
- водопроводная вода (ГОСТ 23732–2011).

Таблица 1

Химический состав железосодержащего шлама, %

Table 1

Chemical composition of iron-containing sludge, %

Наименование добавки	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	Нерастворимый остаток	ППП
Железосодержащий шлам	73,0–75,0	17,0–17,2	9,8–10,0	2,8–3,5	5,0–6,3

Таблица 2

Свойства железосодержащего шлама

Table 2

Parameters of iron-containing sludge

Наименование добавки	Удельная поверхность, м ² /кг	Истинная плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³	рН водной вытяжки
Железосодержащий шлам	350–370	3300–3500	2450–2600	8–9

Физико-механические и физико-химические свойства сырьевых материалов и полистиролбетона определяли в соответствии с требованиями национальных стандартов:

- удельная поверхность шламов определялась на приборе ПСХ-2 по методу газопроницаемости Козени и Кармана (ГОСТ 310.2–76);

- химический состав – по ГОСТ 5382–2019;
- прочность цементного камня определялась испытанием образцов-кубиков размером $0,02 \times 0,02 \times 0,02$ м из теста нормальной густоты;
- пластическая прочность цементного теста определялась погружением металлического конуса с углом 30° ($K = 0,96$) в твердеющее цементное тесто на глубину $0,005$ м через каждые 10 мин в течение 5 ч с использованием конического пластометра рычажного типа;
- кинетика процессов структурообразования на стадии формирования коагуляционной структуры цементного теста определялась по скорости распространения продольных упругих волн с использованием ультразвукового прибора УК14-ПМ и образцов с размерами $0,04 \times 0,04 \times 0,16$ м.
- кинетика процесса тепловыделения при гидратации портландцемента определялась термосным методом;
- предел прочности полистиролбетона на сжатие определялся испытанием на гидравлическом прессе кубов $0,1 \times 0,1 \times 0,1$ м (ГОСТ 33929–2016). Отформованные образцы до испытаний твердели в камере при температуре 20°C и относительной влажности воздуха 95 – 100 %. Оценка прочности проводилась в соответствии с ГОСТ 18105–2018;
- средняя плотность – по ГОСТ 12730.1–2020;
- коэффициент теплопроводности – по ГОСТ 7076–99.

Результаты исследований и их обсуждение

Для установления закономерностей твердения цементного камня с железосодержащим шламом изготавливали образцы из цементного теста нормальной густоты. Добавку железосодержащего шлама вводили в количестве 1 – 12 % от массы портландцемента. Результаты определения прочности на сжатие образцов из цементного камня с железосодержащим шламом приведены на рис. 1. Установлено, что при введении железосодержащего шлама в цементное тесто в количестве 4 – 5 % от массы портландцемента прочность на сжатие цементного камня повышается на 14 – 16 %.

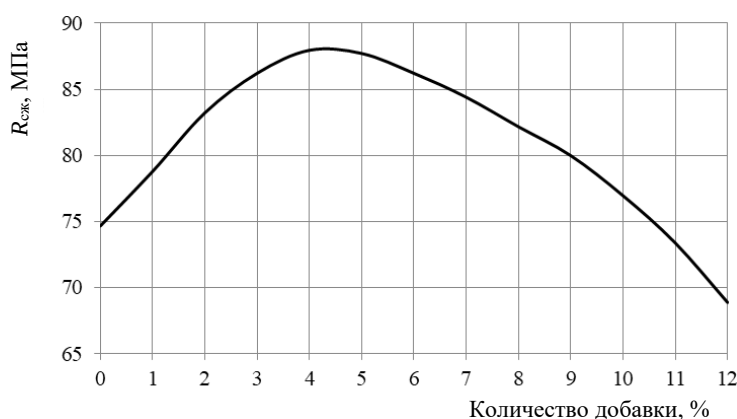


Рис. 1. Предел прочности на сжатие ($R_{сж}$) цементного камня с добавкой железосодержащего шлама

Fig. 1. Compressive strength R_c of hydrated cement with iron-containing additive

Результаты исследований по кинетике изменения пластической прочности цементного теста (предельного напряжения сдвигу) с оптимальным содержанием добавки железосодержащего шлама приведены на рис. 2.

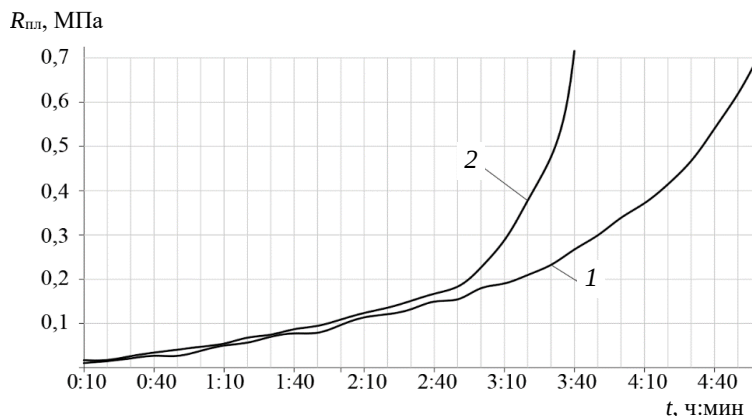


Рис. 2. Пластическая прочность ($R_{пл}$) цементного теста:

t – возраст цементного теста; 1 – без железосодержащего шлама; 2 – с добавкой железосодержащего шлама

Fig. 2. Plastic strength R_p of cement paste:

t – age; 1 – without iron-containing sludge; 2 – with iron-containing sludge

Установлено, что при введении 5 % железосодержащего шлама в цементное тесто скорость нарастания пластической прочности после трех часов твердения увеличивается на 28–30 %.

Данные по изменению скорости прохождения ультразвуковых волн сквозь твердеющее цементное тесто в зависимости от сроков твердения цементного теста и добавки железосодержащего шлама приведены на рис. 3.

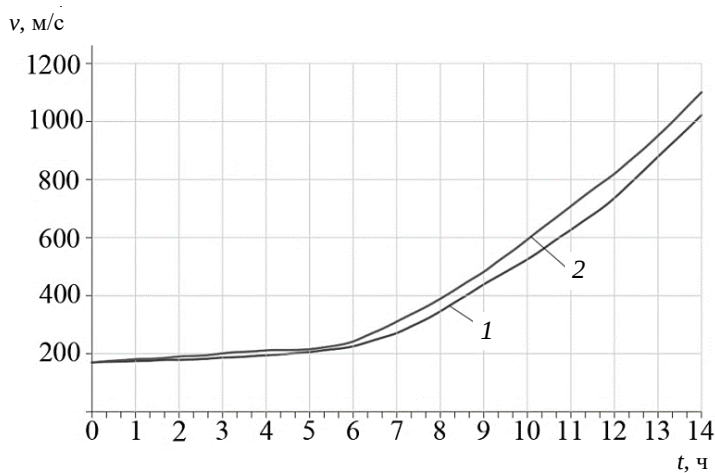


Рис. 3. Скорость распространения ультразвука v в цементном тесте в возрасте t :

1 – без добавки; 2 – с добавкой железосодержащего шлама

Fig. 3. Ultrasound propagation velocity v in hydrated cement at age t :

1 – without iron-containing sludge; 2 – with iron-containing sludge

Полученные результаты показали, что в цементном тесте с добавкой железосодержащего шлама в количестве 5 % через 14 ч после изготовления образцов скорость распространения ультразвуковых волн возрастает на 7,7 %. Это указывает на интенсификацию процесса нарастания прочности цементного теста в начальный период твердения.

На рис. 4 приведены результаты исследования кинетики тепловыделения при гидратации цемента с добавкой железосодержащего шлама.

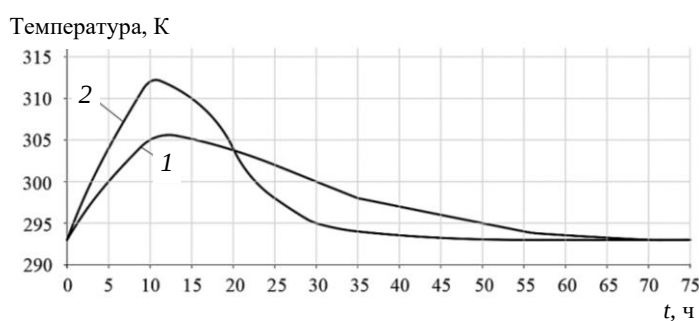


Рис. 4. Тепловыделение портландцемента при гидратации:

1 – без добавки; 2 – с добавкой железосодержащего шлама

Fig. 4. Heat generation of Portland cement during hydration:

1 – without iron-containing sludge; 2 – with iron-containing sludge

На основании результатов проведенных экспериментов определено, что при введении в цементное тесто добавки железосодержащего шлама в количестве 5 % ускоряется скорость начального структурообразования и прочность цементного камня в возрасте 28 сут на 14–15 %.

На рис. 5 представлены результаты определения прочности теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с добавкой железосодержащего шлама на сжатие.

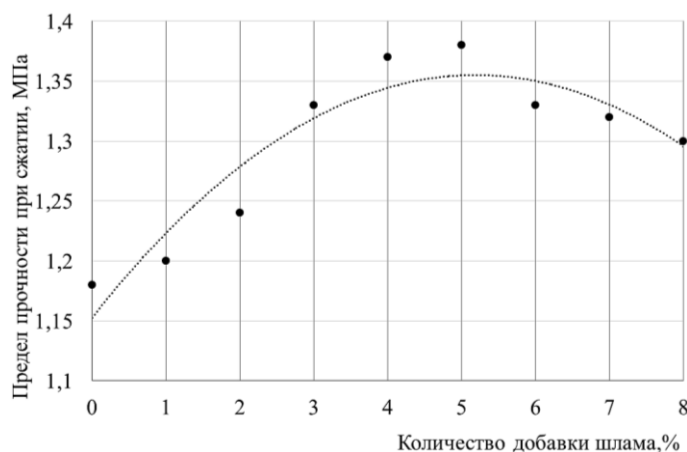


Рис. 5. Прочность на сжатие теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с добавкой железосодержащего шлама

Fig. 5. Compressive strength of heat-insulating structural polystyrene concrete with iron-containing sludge

Математическая обработка результатов исследования позволила получить уравнение с коэффициентами регрессионной модели зависимости предела прочности на сжатие теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с добавкой железосодержащего шлама:

$$Y = 1,153 + 0,078X - 0,0075X^2,$$

где Y – предел прочности при сжатии, МПа; X – количество добавки железосодержащего шлама, % от массы цемента.

Исследование полученной регрессионной модели позволило установить, что введение добавки железосодержащего шлама в полистиролбетонную смесь в количестве 5,2 % от массы цемента приводит к наибольшему приросту прочности полистиролбетона при сжатии. При этом предел прочности теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона увеличивается на 15,3 % и составляет 1,36 МПа.

Результаты определения предела прочности при сжатии теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона в нормальных условиях твердения с добавками железосодержащего шлама и «Бенотех ПМП-1» приведены на рис. 6.

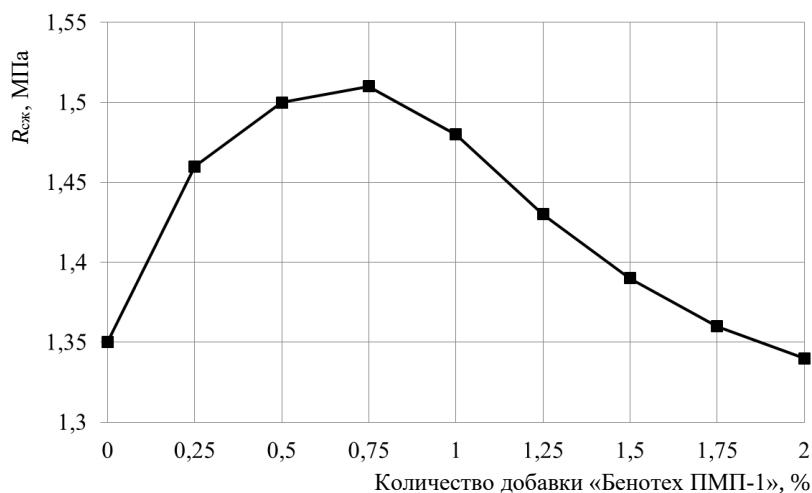


Рис. 6. Предел прочности на сжатие $R_{сж}$ теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с добавкой железосодержащего шлама и противоморозной добавкой «Бенотех ПМП-1»

Fig. 6. Compressive strength R_c of heat-insulating structural polystyrene concrete with the addition of iron-containing sludge and antifreeze Benotech PMP-1

Из результатов испытаний следует, что при введении противоморозной добавки «Бенотех ПМП-1» в количестве 0,75 % от массы цемента в полистиролбетон с железосодержащим шламом прочность повышается до 1,51 МПа (на 11 %). Теплопроводность теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с комплексной добавкой составила 0,076 Вт/(м·К).

Оценку эффективности противоморозной добавки «Бенотех ПМП-1» в условиях зимнего бетонирования проводили согласно ГОСТ 24211–2008. Добавку «Бенотех ПМП-1» вводили в количестве 0,75 % от массы портландце-

мента. При этом предел прочности на сжатие теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с добавкой железосодержащего шлама и противоморозной добавкой «Бенотех ПМП-1» при температуре -10°C в возрасте 28 сут превысил на 34,1 % прочность полистиролбетона без противоморозной добавки «Бенотех ПМП-1» в нормальных условиях твердения, что соответствует критерию эффективности применения противоморозных добавок.

В табл. 3 приведены составы разработанного теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона с маркой по средней плотности D300 с добавкой железосодержащего шлама, а также с добавками железосодержащего шлама и противоморозной добавки «Бенотех ПМП-1».

Таблица 3

**Составы разработанного
теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона на 1 м^3**

Table 3

**Composition of proposed heat-insulating structural polystyrene concrete
modified per 1 м^3**

Цемент, кг	Вода, кг	Пенополисти- рол, 1 м^3	Добавка SDO-L, кг	Железосо- державший шлам, кг	Добавка «Бенотех ПМП-1»
216	97,2	1,0	0,45	11,23	–
216	97,2	1,0	0,45	11,23	1,62

Заключение

Добавка железосодержащего шлама, полученная из отработанного катализатора для производства анилина, может использоваться в качестве активной добавки при изготовлении теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона. Использование предложенной добавки позволяет регулировать процессы гидратации портландцемента на ранних этапах твердения. При этом сокращается период начального структурообразования на 28–30 %, а максимальная температура тепловыделения цементного камня увеличивается на 4°C . Установлено оптимальное количество добавки железосодержащего шлама, составляющее 5,2 % от массы цемента, при котором повышается прочность на сжатие с 1,13 до 1,36 МПа, а класс прочности – с B0,75 до B1. Совместное введение в полистиролбетонную смесь противоморозной добавки «Бенотех ПМП-1» в количестве 0,75 % от массы цемента и железосодержащего шлама в количестве 5,2 % увеличивает прочность на сжатие теплоизоляционно-конструкционного полистиролбетона до 1,51 МПа с сохранением коэффициента его теплопроводности $0,076\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, что позволяет получать теплоизоляционно-конструкционный полистиролбетон с маркой по средней плотности D300 с повышенной прочностью без изменения его теплоизоляционных свойств.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Грабовый П.Г., Старовойтов А.С. Проблемы индивидуального жилищного строительства в России и возможные пути их решения // Недвижимость: экономика, управление. 2019. № 1. С. 94–103. EDN: RDDPDV

2. Шафиров Л.А. Мотивация и ограничения для реализации проектов индивидуального жилищного строительства домохозяйствами России // Journal of Economic Regulation. 2019. Т. 10. № 4. С. 22–34. DOI: 10.17835/2078-5429.2019.10.4.022-034
3. Горбунов А.А., Буянов О.В. К вопросу о перспективах развития предпринимательства в малоэтажном жилищном строительстве // Строительство. Экономика и управление. 2020. № 1 (37). С. 26–31. EDN: СВАРУА
4. Kostrikin P.N., Le V.T., Andreeva A.I. Innovative approaches in the field of low-rise housing construction and digital transformation of investment and construction activities as the main focus of the All-Russian Housing Congress // Real Estate: Economics, Management. 2021. № 3. P. 6–10. DOI: 10.22337/2073-8412-2021-3-6-10. EDN: GYJGXQ
5. Steshenko A.B., Kudiyakov A.I. Cement based foam concrete with aluminosilicate microspheres for monolithic construction // Magazine of civil engineering. 2018. № 8 (84). P. 86–96. DOI: 10.18720/MCE.84.9. EDN: IWWNMW
6. Разумей В.Ю. Индивидуальное жилищное строительство как вектор стратегии развития строительных организаций в условиях трансформации // Строительный комплекс: экономика, управление, инвестиции : межвузовский сборник научных трудов. Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2020. С. 40–45. EDN: HRUUVF
7. Рахманов В.А., Сафонов А.А. Свойства полистиролбетонов при различных видах статического и динамического сжатия // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 4. С. 65–71. EDN: YKPDNT
8. Ilina I., Kudiyakov A., Rakov M. Aerated dry mix concrete for remote northern territories // Magazine of Civil Engineering. 2022. № 5 (113). С. 11310. DOI: 10.34910/MCE.113.10. EDN: CDHQSU
9. Пименова Л.Н., Кудяков А.И. Пенобетон, модифицированный силикагелем // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 2 (39). С. 229–234. EDN: QBVCFT
10. Дραπεза А.О. Создание полистиролбетона низкой плотности // Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства : сборник научных статей, Гродно, 23–24 мая 2019 г. / редколлегия: А.Р. Волик [и др.]. Гродно : Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, 2019. С. 174–176. EDN: FYOMQY
11. Угляница А.В., Дуваров В.Б. Утепление обделки подземных сооружений теплоизоляционно-конструкционным геополестиолбетоном // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 2 (150). С. 64–74. DOI: 10.26730/1999-4125-2022-2-64-74
12. Акулова М.В., Слизнева Т.Е. Полистиролбетон на портландцементном вяжущем с добавлением жидкого стекла и шамота // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 3 (68). С. 103–111. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-3-103-111
13. Поляков Т.А., Поварова О.А. Использование фибры из полиэтилентерефталата для улучшения свойств полистиролбетона // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. 2019. № 4 (6). С. 83–85. EDN: JQNOSZ
14. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Соболева Г.Н. и др. Структура и свойства полистиролбетона с силикатными пастами // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 11. С. 25–33. DOI: 10.12737/article_5a001aadc0fe57.79195521
15. Chowdhury S., Mishra M., Suganya O. The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: An overview // Ain Shams Engineering Journal. 2015. June. V. 6. I. 2. P. 429–437. DOI: 10.1016/j.asej.2014.11.005
16. Cheah Chee Ban, Ramli Mahyuddin. Mechanical strength, durability and drying shrinkage of structural mortar containing HCWA as partial replacement of cement // Construction and Building Materials. 2012. May. V. 30. P. 320–329. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.009
17. Kulasuriya C., Vimonsatit V., Dias W.P.S., De Silva P. Design and development of Alkali Pozzolan Cement (APC) // Construction and Building Materials. 2014. V. 68. P. 426–433. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.06.095
18. Konsta-Gdoutos M.S., Metaxa Z.S., Shah S.P. Highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials // Cement and Concrete Research. 2010. July. V. 40. I. 7. P. 1052–1059. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.02.015

19. Короткова А.А. Выбор цемента для производства легких бетонов и способы устранения возможных дефектов полистиролбетона // Технологии бетонов. 2019. № 11–12 (160–161). С. 12–14. EDN: NIYCXJ
20. Рахимов М.А., Рахимова Г.М., Ткач Е.В., Мудренко В.В. Исследование влияния комплексного модификатора на физико-механические свойства полистиролбетона // Труды университета. 2022. № 1 (86). С. 166–170. EDN: BHYLLE
21. Космачев П.В., Демьяненко О.В., Власов В.А., Копаница Н.О., Скрипникова Н.К. Композиционные материалы на основе цемента с нанодисперсным диоксидом кремния // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 4. С. 139–146. EDN: ZDDEGN
22. Ильина Л.В., Бердов Г.И., Гичко Н.О. Влияние комплексных дисперсных минеральных добавок на прочность цементного камня // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2017. № 1. С. 38–44. EDN: YRJWX
23. Кудяков А.И., Прищепа И.А., Осипов С.П. Цементный пенобетон неавтоклавного твердения с термомодифицированной торфяной добавкой // Строительные материалы. 2022. № 1-2. С. 40–49. EDN: DWUMKK
24. Дуваров В.Б., Угляница А.В. О возможности применения отходов химических предприятий в производстве портландцементов // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах : сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции, Кемерово, 23–25 ноября 2021 г. Кемерово : Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2021. С. 606-1–606-7. EDN: NTKOY
25. Кудяков А.И., Плевков В.С., Белов В.В., Невский А.В., Кудяков К.Л. Технология и состав углеродифибробетона с повышенной однородностью прочностных показателей // Вопросы материаловедения. 2016. № 1 (85). С. 66–72. EDN: WANUNL
26. Кудяков А.И., Симакова А.С., Кондратенко В.А., Стешенко А.Б., Латыпов А.Д. Влияние органических добавок на свойства цементного теста и камня // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 6. С. 138–147. EDN: YRJFB
27. Кудяков А.И., Копаница Н.О., Прищепа И.А., Шаньгин С.Н. Конструкционно-теплоизоляционные пенобетоны с термомодифицированной торфяной добавкой // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 1 (38). С. 172–177. EDN: PWWKOB
28. Машкин Н.А., Кудяков А.И., Бартеньева Е.А. Неавтоклавный пенобетон, дисперсно-армированный минеральными и волокнистыми добавками // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 8 (716). С. 58–68. EDN: MJCXRB

REFERENCES

1. Graboviy P.G., Starovoytov A.S. Problems and Possible Solutions of Individual Housing Construction in Russia. *Nedvizhimost': ekonomika, upravlenie*. 2019; (1): 94–103. EDN: RDDPDV (In Russian)
2. Shafirov L.A. Motivation and Restrictions for Project Implementation of Individual Housing Construction in Russia. *Journal of Economic Regulation*. 2019; 10 (4): 22–34. DOI: 10.17835/2078-5429.2019.10.4.022-034 (In Russian)
3. Gorbunov A.A., Buyanov O.V. Toward Prospects for Entrepreneurship Development in Low-Rise Housing. *Stroitel'stvo. Ekonomika i upravlenie*. 2020; 1 (37): 26–31. EDN: CBAPYA (In Russian)
4. Kostrikin P.N., Le V.T., Andreeva A.I. Innovative Approaches in the Field of Low-Rise Housing Construction and Digital Transformation of Investment and Construction Activities as the Main Focus of the All-Russian Housing Congress. *Real Estate: Economics, Management*. 2021; (3): 6–10. DOI: 10.22337/2073-8412-2021-3-6-10. EDN: GYJGXQ
5. Steshenko A.B., Kudyakov A.I. Cement Based Foam Concrete with Aluminosilicate Microspheres for Monolithic Construction. *Magazine of Civil Engineering*. 2018; 8 (84): 86–96. DOI: 10.18720/MCE.84.9. EDN: IWWNMW
6. Razumey V.Yu. Individual Housing Construction as a Vector of the Strategy for the Development of Construction Organizations in the Context of Transformation. In: *Coll. Papers "Building*

- Complex: Economics, Management, Investments*". Saint-Petersburg, 2020. Pp. 40–45. EDN: HRUUVF (In Russian)
7. Rakhmanov V.A., Safonov A.A. Properties of Polystyrene Concrete under Static and Dynamic Compressive Loads. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017; (4): 65–71. EDN: YKPDNT (In Russian)
 8. Ilina I., Kudyakov A., Rakov M. Aerated Dry Mix Concrete for Remote Northern Territories. *Magazine of Civil Engineering*. 2022; 5 (113): 11310. DOI: 10.34910/MCE.113.10. EDN: CDHQSU
 9. Pimenova L.N., Kudyakov A.I. Foam Concrete Modified with Silica Gel. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2013; 2 (39): 229–234 EDN: QBVCFT (In Russian)
 10. Drapeza A.O. Creation of Low-Density Polystyrene Concrete. In: *Coll. Papers "Traditions, Modern Problems and Prospects of Construction"*, A.R. Volik Ed. May 23–24, 2019. Grodno: Yanka Kupala State University of Grodno, 2019. Pp. 174–176. EDN: FYOMQY (In Russian)
 11. Uglyanitsa A.V., Duvarov V.B. Insulation of Underground Lining with Heat-Insulating Structural Polystyrene Concrete. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2022; 2 (150): 64–74. DOI: 10.26730/1999-4125-2022-2-64-74 (In Russian)
 12. Akulova M.V., Slizneva T.E. Polystyrene Concrete Based on Portland Cement Binder with Liquid Glass and Fireclay. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2018; 3(68): 103–111. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-3-103-111 (In Russian)
 13. Polyakov T.A., Povarova O.A. Polyethylene Terephthalate Fiber for Property Improvement of Polystyrene Concrete. *Vestnik Vologodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskies nauki*. 2019; 4 (6): 83–85. EDN: JQNOSZ (In Russian)
 14. Lukutsova N.P., et al. Structure and Properties of Polystyrene Concrete with Silicate Pastes. *Bulletin of the Shukhov Belgorod State Technological University*. 2017; (11): 25–33. DOI: 10.12737/article_5a001aadc0fe57.79195521 (In Russian)
 15. Chowdhury S., Mishra M., Suganya O. Incorporation of Wood Waste Ash as Partial Cement Replacement Material for Making Structural Grade Concrete: An overview. *Ain Shams Engineering Journal*. 2015; 6 (2): 429–437. DOI: 10.1016/j.asej.2014.11.005
 16. Cheah Chee Ban, Ramli Mahyuddin. Mechanical Strength, Durability and Drying Shrinkage of Structural Mortar Containing HCWA as Partial Replacement of Cement. *Construction and Building Materials*. 2012; 30 (5): 320–329. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.009
 17. Kulasuriya C., Vimonsatit V., Dias W.P.S., De Silva P. Design and Development of Alkali Pozzolan Cement (APC). *Construction and Building Materials*. 2014; 68: 426–433. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.06.095
 18. Konsta-Gdoutos M.S., Metaxa Z.S., Shah S.P. Highly Dispersed Carbon Nanotube Reinforced Cement Based Materials. *Cement and Concrete Research*. 2010; 40 (7): 1052–1059. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.02.015
 19. Korotkova A.A. Cement Choice for Lightweight Concrete Production and Ways to Eliminate Possible Defects in Polystyrene Concrete. *Tekhnologii betonov*. 2019; 11–12 (160–161): 12–14. EDN: NIYCXJ (In Russian)
 20. Rakhimov M.A., Rakhimova G.M., Tkach E.V., Mudrenko V.V. Influence of Complex Modifier on Physical and Mechanical Properties of Polystyrene Concrete. *Trudy universiteta*. 2022; 1 (86): 166–170. EDN: BHYLLE (In Russian)
 21. Kosmachev P.V., Demyanenko O.V., Vlasov V.A., Kopanitsa N.O., Skripnikova N.K. Composite Materials Based on Cement with Nanodispersed Silicon Dioxide. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017; (4): 139–146. EDN: ZDDEGN (In Russian)
 22. Ilyina L.V., Berdov G.I., Gichko N.O. Influence of Complex Dispersed Mineral Additives on hydrated cement strength. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2017; (1): 38–44. EDN: YRJJWX (In Russian)
 23. Kudyakov A.I., Prishchepa I.A., Osipov S.P. Non-Autoclaved Cement Foam Concrete with Thermally Modified Peat Additive. *Stroitel'nye materialy*. 2022; (1–2): 40–49. EDN: DWUMKK (In Russian)
 24. Duvarov V.B., Uglyanitsa A.V. Possibility of Using Waste from Chemical Enterprises in Portland Cement Production. In: *Proc. 14th Int. Sci. Conf. 'Life Safety of Enterprises in Industrialized Regions'*. November 23–25, Kemerovo, 2021. Pp. 606–1–606–7. EDN: NTKOIY (In Russian)
 25. Kudyakov A.I., Plevkov V.S., Belov V.V., Nevskii A.V., Kudyakov K.L. Technology and Composition of Carbon-Fiber-Reinforced Concrete with High Homogeneity of Strength Properties. *Vo prosy materialovedeniya*. 2016; 1 (85): 66–72. EDN: WANUNL (In Russian)

26. 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 Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2018; 20 (6): 138–147. EDN: YRJFB (In Russian)
27. Kudyakov A.I., Kopanitsa N.O., Prishchepa I.A., Shangin S.N. Structural and Heat-Insulating Foam Concrete with Thermally Modified Peat Additive. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2013; 1 (38):172–177. EDN: PWWKOB (In Russian)
28. Mashkin N.A., Kudyakov A.I., Bartenyeva E.A. Non-Autoclaved Foam Concrete Dispersed-Reinforced with Mineral and Fibrous Additives. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2018; 8 (716): 58–68. EDN: MJCXRB (In Russian)

Сведения об авторах

Угляница Андрей Владимирович, докт. техн. наук, профессор, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, uav@kuzstu.ru

Кудяков Александр Иванович, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kudyakow@mail.tomsknet.ru

Дуваров Владимир Борисович, ст. преподаватель, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, wowawowa@bk.ru

Authors Details

Andrei V. Uglyanitsa, DSc, Professor, Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyyaya Str., 650000, Kemerovo, Russia, uav@kuzstu.ru

Aleksandr I. Kudyakov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kudyakow@mail.tomsknet.ru

Vladimir B. Duvarov, Senior Lecturer, Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyyaya Str., 650000, Kemerovo, Russia, wowawowa@bk.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 16.03.2025
Одобрена после рецензирования 03.04.2025
Принята к публикации 27.05.2025

Submitted for publication 16.03.2025
Approved after review 03.04.2025
Accepted for publication 27.05.2025