



Исследование морозостойкости литых поропластов многослойных стеновых ограждений

Н.А. Емельянова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Целью настоящего исследования является экспериментальная проверка возможности использования в зимних условиях литых композитов «Поропласт CF02» в качестве термовкладышей многослойных стеновых ограждений жилых и общественных зданий. Применение литых композитов в качестве термоизоляционного компонента многослойного ограждения уже давно является одним из технологически удобных, функционально эффективных и апробированных решений. Для круглогодичного ведения строительных работ с использованием литых композитов важно учитывать влияние условий внешней среды (температуры и влажности) на кинетику значимых параметров теплоизоляции, так как именно ее следует рассматривать в качестве критерия эксплуатационной долговечности. Циклические *T-W* испытания проводились в соответствии с нормативно стандартизированными методиками. Выполнена сравнительная оценка теплоизолирующих качеств литого композита «Поропласт CF02» при различных условиях полимеризации и после циклического замораживания и оттаивания различной интенсивности. В работе приведены результаты экспериментальных исследований сохраняемости теплозащитных свойств литых утеплителей из композита «Поропласт CF02» в условиях, моделирующих их работу в многослойных ограждающих конструкциях зданий в районах сурового климата. Проведенное экспериментальное исследование позволило подтвердить стабильность свойств литых утеплителей из композита «Поропласт CF02» при различных естественных условиях полимеризации и определяющее влияние влажности внешней среды на кинетику их изменения.

Ключевые слова: многослойные ограждающие конструкции, теплоизоляционные материалы, теплопроводность, карбамидный поропласт, климатическая долговечность

Для цитирования: Емельянова Н.А. Исследование морозостойкости литых поропластов многослойных стеновых ограждений // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 2. С. 262–270. <https://elibrary.ru/kinyuc>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-262-270>.

Original article

Research into the frost resistance of cast foam plastics in multilayer wall envelopes

Natalia A. Emelyanova

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The possibility of using *Poroplast CF02* cast composites under winter conditions as thermofillers for multilayer wall enclosures of residential and public buildings was investigated. The use of cast composites as a thermo-insulating component in multilayer enclosures has long been considered as a technologically convenient, functionally effective, and reliable solution. When organizing year-round construction works with the use of cast composites, the influence of ambient conditions (temperature and humidity) on the kinetics of thermal insulation parameters should be taken into account. It is thermal insulation that should be considered as an operational durability criterion. Cyclic *T-W* tests were conducted in accordance with standardized regulatory methods. A comparative assessment of the thermo-insulating parameters of *Poroplast CF02* cast composite samples was performed under varied polymerization conditions and after cyclic freezing and thawing of different intensities. The results of experimental studies into the stability of the thermal characteristics of

© Емельянова Н.А., 2023

Poroplast CF02 cast insulators under the conditions simulating their work in multilayered enclosure structures of buildings in severe climate areas are presented. The conducted experimental study confirmed the stability of *Poroplast CF02* cast insulators under different natural polymerization conditions. The determining role of environmental humidity on the kinetics of such insulators was demonstrated.

Keyword: multilayer enclosing structures, heat-insulating materials, thermal conductivity, carbamide foam plastic, climatic durability

For citation: Emelyanova N.A. Research into the frost resistance of cast foam plastics in multilayer wall envelopes. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2023;13(2):262-270. (In Russ.). <https://elibrary.ru/kinyuc>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-262-270>.

ВВЕДЕНИЕ

Разноплановость эксплуатационных требований¹, предъявляемых к ограждениям зданий, и существенные различия физических процессов их реализации, предопределили целесообразность и широкое применение их многослойных конструктивных систем [1–6]. При этом теплозащита помещений обеспечивается использованием высокопористых материалов низкой плотности и высокого воздухоудержания, а прочностные и влагоизолирующие функции – плотными и жесткими элементами с высокой тепло- и массопроводностью [7–13]. Другими словами, имеются (создаются) объективные предпосылки термодинамической неоднородности и неустойчивости, что в нестационарных изменениях температур и влажности окружающей среды ведет к разнонаправленным массообменным процессам с различными кумулятивными последствиями.

Аналитически обоснованно [14–18] и экспериментально подтверждено [19–24], что в районах сурового климата в зимний период времени при используемых многослойных ограждениях нулевая изотерма температуры находится в слое утеплителя. Сопутствующая картина распределения парциального давления водяных паров позволяет предполагать высокую вероятность их конденсации и увеличения влагонасыщения термовкладышей. В условиях естественного колебания температуры (характерного для сурового климата) интенсифицируются процессы морозной деформации и, как следствие, изменение целенаправленно сформированной структуры.

Одним из технологически удобных, функционально эффективных и многократно апробированных [8, 25–27] решений рассматриваемых вопросов является использование ли-

тых композитов в качестве термоизоляционного компонента многослойного ограждения. Его предпочтительная макро- и микроструктура формируется в процессе полимеризации после заливки и становится проблематичной при отрицательных температурах внешней среды.

Поэтому одной из практически значимых задач настоящего исследования является экспериментальная проверка возможности круглогодичного (непрерывного) ведения строительных работ с использованием литого композита «Поропласт CF02». При этом в качестве критерия эксплуатационной долговечности должна рассматриваться кинетика значимых параметров теплоизоляции во взаимозависимости от условий внешней среды (температуры и влажности).

МЕТОДЫ

Состав и технология предварительного вспенивания композита соответствовали технологически апробированному регламенту [8, 20, 26, 27] с последующей специализацией условий полимеризации и отверждения:

- температура воздуха плюс 18–20°C (серия «ОК»);
- температура воздуха минус 15–18°C (серия «МК»).

В месячном возрасте полимеризации в заданном режиме производилась поверочная калибровка проб поропласта с оценкой плотности и однородности по объему и влагосохранению.

Незначительные различия по плотности (15,5 и 14,7 кг/м³ для серий «ОК» и «МК» соответственно) и сравнительная влажность по массе (9,5 и 10%) позволяют считать вполне сопоставимым исходное состояние образцов с различными условиями полимеризации.

Циклические *T-W* испытания велись на ку-

¹Об энергосбережении: закон Российской Федерации от 03.04.1996 г. № 28-ФЗ // [Электронный ресурс]. URL: (10.11.2022).

бических образцах с ребром 50 мм и 100 мм, количество которых принималось достаточным для получения статистически значимых результатов [19]. Проведению испытаний предшествовало водонасыщение образцов теплой водой до требуемого влагосодержания. Цикл испытаний составлял 8 часов замораживания до минус 20°C и 16 ч оттаивания в паровоздушной среде с различной влажностью (40–90%) при температуре 18–20°C. По истечении каждых 30 циклов (Ц30) производился осмотр с фиксацией внешних дефектов, формоизменения, сорбционной влажности и теплопроводности по нормативно стандартизированным методикам (ГОСТ 24816 и ГОСТ 30256). Сорбционная способность образцов (ω_i) оценивалась изменением массы исходного и стабилизированного (в заданной среде) состояния. Измерение теплопроводности велось "Зондом", погруженным в исследуемый образец.

сти велось "Зондом", погруженным в исследуемый образец.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Важнейшим показателем изоляционных свойств является пористость материала, структура которой характеризуется [16–18, 20, 24] ячеистой (макропористость) и межпоровой (пористость перегородок) составляющей. Средние показатели пористости исследуемого поропласта приведены в табл. 1 и свидетельствуют о сопоставимых значениях макропористости и снижении пор перегородок при увеличении длительности замораживания.

При этом следует отметить однородность экспериментальных показателей (коэффициент Стюдента 2,45–2,78) независимо от условий полимеризации.

Таблица 1. Усредненные показатели пористости
Table 1. Average indicators of porosity

Условия полимеризации	Плотность, кг/м ³	Начальная влажность, %	Открытая пористость, %	Микропористость, %	Закрытая пористость, %
Положительная температура	21,8	13	95,5	1,67	2,9
Кратковременное замораживание	15	15	96,8	1,6	2,2
Длительное замораживание	14,5	15	97,7	1,05	1,3

Анализ внешних признаков опытных образцов позволяет судить о том, что циклическое замораживание без дополнительного водонасыщения (погружения в воду) не ведет к существенным структурным изменениям.

В образцах стандартизированных режимов полимеризации на всей базе воздействий не наблюдались внешние поверхностные повреждения, а изменение массы составляло 1,5–2% с постоянной кинетикой снижения.

Поропласт морозных условий полимеризации оказался менее устойчивым при 10% снижения массы и образовании поверхностных трещин.

При этом следует отметить, что на последних циклах (>60 Ц30) происходила заметная стабилизация состояния. При несомненной познавательной значимости внешних признаков структурной стабильности функциональная долговечность поропласта определяется сохранностью кондиционных параметров теплоизолирующих свойств, оцениваемых кинетикой сорбционного поглощения и коэффициентом теплопроводности.

фициентом теплопроводности.

Экспериментальное определение сорбционной влажности выполнено по ГОСТ 17177-94², предусматривающему ее оценку по количеству адсорбированной воды высушенным материалом.

Поэтому опытные образцы сушили в шкафу до постоянной массы при температуре 105°C с последующим охлаждением в эксикаторе над раствором хлористого кальция.

Сорбционное поглощение оценивалось по результатам прироста массы образцов после суточного хранения над водной средой.

С учетом целевых задач исследования их кинетика анализируется во взаимосвязи с количеством циклов нестационарных температурных воздействий (N) и последующего водопоглощения (W_c) в паровоздушной среде различной влажности. Основные значения верхнего диапазона 95% обеспеченности сорбции образцов и их прирост в циклическом процессе (ΔW_c) приведены в табл. 2.

²ГОСТ 17177-94 Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний // [Электронный ресурс]. URL: docs.cntd.ru (10.11.2022).

Таблица 2. Постциклическая сорбционная способность поропласта
Table 2. Postcyclic sorption capacity of the poroplastic

Влажность среды, %	ЦЗО	Серия «ОП»			Серия «МП»			Примечание
		W_c , %	ΔW_c , %	ω_c , %/цикл	W_c , %	ΔW_c , %	ω_c , %/цикл	
40	30	14,4	0,7	0,023	14,9	0,8	0,027	Исходные параметры сорбции 13,7–14,1 соответственно для серии «ОП» и «МП»
	60	–	–	0,012	14,8	0,7	0,012	
	90	–	–	0,008	14,9	0,8	0,009	
60	30	14,8	1,4	0,037	15,1	1,0	0,033	
	60	15,1	1,4	0,023	15,1	1,0	0,017	
	90	15,0	1,3	0,014	15,2	1,1	0,012	
80	30	16,5	2,8	0,093	16,5	2,4	0,081	
	60	16,3	2,6	0,043	16,5	–	0,042	
	90	16,4	2,7	0,031	16,5	–	0,027	
90	30	19,1	5,5	0,183	19,8	5,7	0,190	
	60	19,2	5,6	0,092	20,3	6,2	0,103	
	90	19,3	5,7	0,063	20,5	6,4	0,071	

Подтверждается установленное ранее [10, 27] сходство структурной трансформации поропласта различных условий полимеризации, характеризующее сопоставимыми изменениями сорбции образцов двух серий на всех этапах температурно-влажностных воздействий. При этом отсутствует ощутимое влияние количества циклов, что свидетельствует о высокой демпфирующей способности мелкодисперсной структуры поропласта и проблематичности использования этого фактора в прогнозировании его эксплуатационной долговечности.

Для анализа изменений проведено исследование параметров гигрометрического равновесия с окружающей средой, которое зависит от ее влажности и температуры.

Известно [16–18, 28, 29], что поглощение материалом влаги свидетельствует о сорбции, а уменьшение – о десорбции. Их определение велось в соответствии с регламентированной методикой³ в искусственно создаваемых паровоздушных средах с относительной влажностью воздуха 40–97%. Наблюдается высокая чувствительность поропластов с морозными последствиями к влажности среды постциклических условий использования (рис. 1 и 2). Увеличение влажности в два раза ведет к резкому возрастанию прироста удель-

ной (за один цикл) сорбции утеплителя.

Интенсивность поглощения повышается при $W \geq 80\%$, что может быть объяснимо сопутствующим ростом капиллярного водопоглощения.

Независимо от физических закономерностей сорбционных процессов, полученные результаты свидетельствуют о возможности использования показателей влажности района и температур зимнего периода для прогнозирования деструктивных процессов в утеплителях многослойных ограждений зданий.

Что касается изменения теплопроводности образцов обеих серий, то ее исходное значение ($\lambda = 0,027$ Вт/м · °С) практически не изменялось на всей базе T - W воздействий с небольшой (3–4%) тенденцией возрастания. Увеличение влажности поропласта до 100% (по массе) не ведет к снижению термосопротивления и влияние количества циклов сказывается (рис. 3) при влагонасыщении более 150% (по массе). В реальных условиях подобное влагонасыщение структуры термовкладышей многослойных ограждений маловероятно. Вероятное влагосодержание теплоизолятора при используемых конструкциях ограждения не превышает 25% [10, 28, 29].

³ГОСТ 24816-2014 Материалы строительные. Метод определения равновесной сорбционной влажности // Кодекс.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200117808> (10.11.2022).

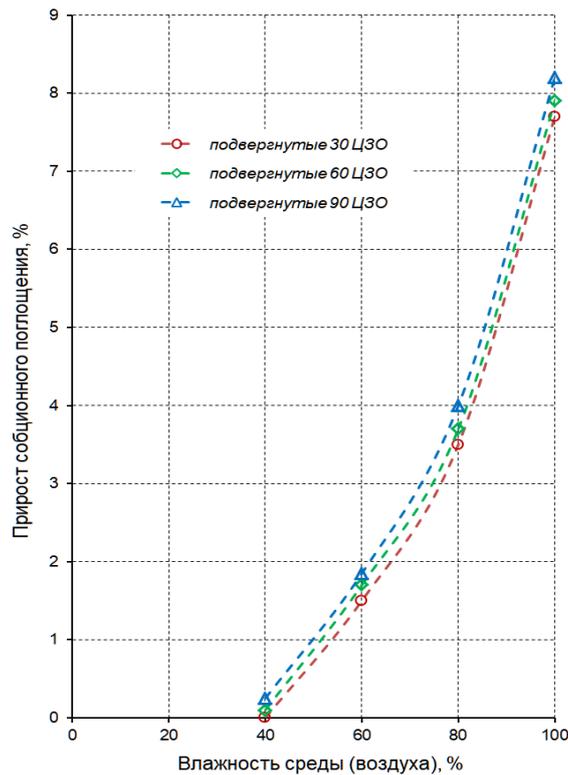


Рис. 1. Кинетика удельных приращений сорбции поропласта (серия «ОП») нормальной полимеризации

Fig. 1. Kinetics of specific increments of foam plastic sorption (series «OP») normal polymerization

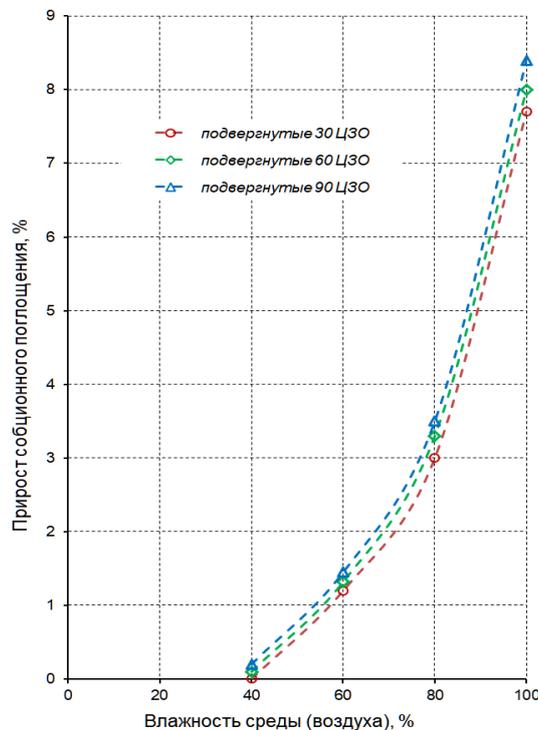


Рис. 2. Кинетика удельных приращений сорбции поропласта морозной полимеризации

Fig. 2. Kinetics of Specific Increments of pore plastic sorption frost polymerization

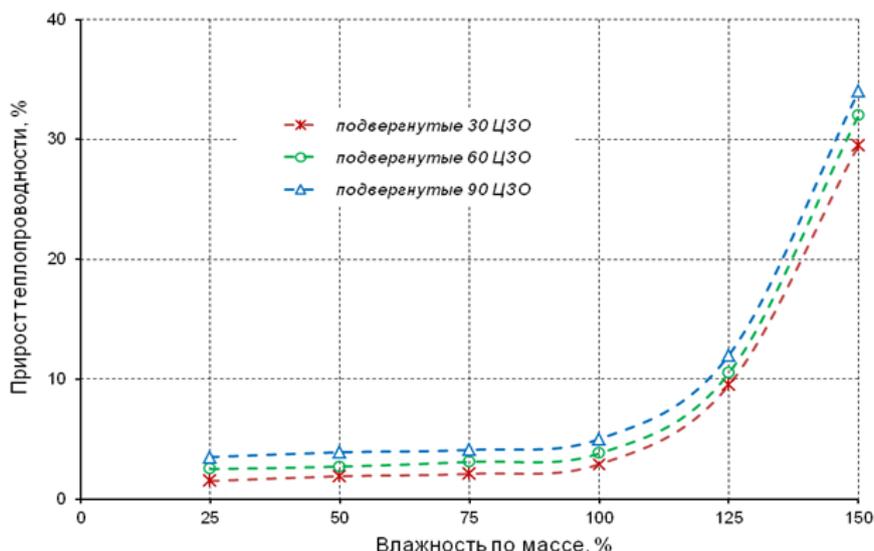


Рис. 3. Динамика роста теплопроводности в циклическом замораживании
Fig. 3. Dynamics of increase in thermal conductivity in cyclic freezing

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведенного исследования экспериментально установлено следующее:

1. Литые утеплители из композита «Поропласт CF02», сформированные в различных термовлажностных условиях полимеризации, обладают сопоставимыми теплотехническими

свойствами и их сохраняемостью в циклических процессах замораживания и оттаивания.

2. Влажность внешней среды является одним из значимых факторов прогнозирования расчетной долговечности многослойных ограждающих конструкций с литыми утеплителями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бобрышев В.В. Однослойные и многослойные ограждающие конструкции здания // Молодой ученый. 2018. № 47 (233). С. 34–37. EDN: YOYXON.
2. Романов И.А. К вопросу о конструктивно-технологических системах наружных стен жилых малоэтажных зданий // Молодой ученый. 2019. № 22 (260). С. 134–138. EDN: MDXOQC.
3. Мусорина Т.А., Гамаюнова О.С., Петриченко М.Р. Обоснование конструктивных мероприятий по увеличению энергоэффективности стеновых ограждений // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 11 (110). С. 1269–1277. EDN: TAUMWV. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2017.11.1269-1277>.
4. Yokubova M.T. The role of heat containing walls in increasing the energy efficiency of buildings // Scientific progress. 2022. Vol. 3. No. 4. P. 85–88.
5. Gnezdilova O., Kudryavtseva V., Terenteva N. Modern effective technologies applied for constructing external walls // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 828. No. 1. P. 012008. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/828/1/012008>.
6. Хатина Е.В. Динамическая теплоизоляция ограждающих конструкций зданий // Ползуновский вестник. 2011. № 1. С. 224–228. EDN: OCSKIR.
7. Ватолкин С.М. Влияние типов утеплителей на качество многослойных строительных конструкций // Проектирование и строительство в Сибири. 2003. № 1. С. 22–24.
8. Емельянова Н.А. Исследование технологических аспектов применения литых утеплителей в ограждающих конструкциях зданий // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 12 (95). С. 116–120. EDN: RHIBPE.
9. Москвитин В.А., Емельянова Н.А., Машович А.Я. Экспериментальные исследования показателей воздухопроницаемости композита «Поропласт CF» // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 2 (29). С. 342–353. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-2-342-353>. EDN: XCGLQU.
10. Москвитин В.А., Пинус Б.И., Емельянова Н.А., Москвитин Д.В. Долговечность слоистых ограждающих конструкций с литыми композитами // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2015. № 4 (15). С. 151–158. EDN: VHDRGF.
11. Сакмарова Л.А., Бахмисова М.А. Многослойные ограждающие конструкции и их свойства при температурных воздействиях // Новое в архитектуре, проектировании строительных кон-

струкций и реконструкции: материалы IV Международной (X Всероссийской) конференции (г. Чебоксары, 21–22 ноября 2018 г.). Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2018. С. 88–96. EDN: ISUHBL.

12. Tojiboyev B.T. Development of thermal insulation materials with low thermal conductivity on the basis of local raw MATERIALS // Scientific progress. 2021. Vol. 2. No. 8. P. 340–345.

13. Mokhammed A.R., Naimi S. The Effectiveness of Thermal Insulation of the Exterior Composite Walls of Buildings in Iraq Based on Different Materials and Climate Regions using Engineering Applications // International Journal of Intelligent Systems and Application in Engineering. 2023. Vol. 11. No. 4s. P. 594–601.

14. Сигачев Н.П. Расчет нестационарных тепловых процессов с учетом воздухообмена и проблемы нормирования теплозащиты зданий // Экспресс-Информация. Серия Строительство, проектирование. 2001. № 1. С. 23–33.

15. Силаенков Е.С. Методика определения долговечности системы утепления наружных стен с эффективным утеплителем // Строительные материалы. 2001. № 1. С. 15–17.

16. Rhee-Duverne S., McCaig I., Orr S., Zhang H., Viles H.A. Assessing moisture in porous traditional building materials // 1st International Conference on Moisture in Buildings 2021 (ICMB21) (London, 28–29 June 2021). London: UCL, 2021. <https://doi.org/10.14293/ICMB210054>.

17. Хейфец Л.И., Неймарк А.В. Многофазные процессы в пористых средах. М.: Химия, 1982. 320 с.

18. Карнаухов А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов. Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1999. 470 с.

19. Tushina V., Tushin A., Alekperov R. Experimental and theoretical studies of the thermal efficiency of multilayer non-uniform building enclosures // Journal of Building Engineering. 2022. Vol. 45. P. 103439 <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103439>. EDN: MIJVBVR.

20. Гнездилова О.А. Оценка теплозащитных качеств ограждающей конструкции // Научное обозрение. 2007. № 1. С. 55–57.

21. Критерии оценки качества и выбора теплоизоляционных материалов // Технологии строительства. 2005. №2. С. 5–15.

22. Vatin N.I., Pestryakov I.I., Sultanov Sh.T., Ogi-

dan T., Yarunicheva Y.A., Kiryushina A.P. WATER VAPOUR BY DIFFUSION AND MINERAL WOOL THERMAL INSULATION MATERIALS // Magazine of Civil Engineering. 2018. №5 (81). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/water-vapour-by-diffusion-and-mineral-wool-thermal-insulation-materials> (19.03.2023).

23. Хлевчук В.П. Бессонов И.В., Румянцева И.А., Сигачев Н.П. и др. К вопросу о стойкости пенопластов и волокнистых утеплителей в ограждающих конструкциях зданий // Сб. докладов: Проблемы строительной теплофизики систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях, М.: НИИСФ. 2001. С. 255–258.

24. Гнездилова О. А. Исследование влияния эксплуатационных факторов на теплопроводность "Поропласта CF02" // Проблемы и перспективы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации железных дорог: труды всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Иркутск: ИргупС, 2009. Т. 1. С. 169–173.

25. Москвитин В.А., Пинус Б.И., Емельянова Н.А. Эффективность использования литых утеплителей в стеновых ограждениях малоэтажных зданий // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 2 (73). С. 110–114. EDN: PWMETR.

26. Москвитин В.А., Шишкин А.В., Гнездилова О.А. и др. Эффективные слоистые каменные наружные конструкции с теплоизоляцией из композита "Поропласт CF02". ТУ 5741-002-16602333-2006: утв.000 "Фоампласт", ООО "Иркут-Инвест". Иркутск. 2006. 16 с.

27. Гнездилова О.А., Москвитин В.А. Теплоэнергосберегающие ограждающие конструкции с утеплителем из композита "Поропласт CF02" // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2007. № 2. С. 2–6.

28. Xu, Chengcheng & Li, Shuhong & Zou, Kaikai. (2019). Study of Heat and Moisture Transfer in Internal and External Wall Insulation Configurations. Journal of Building Engineering. 24. DOI: 10.1016 / j.jobe.2019.02.016.

29. Gagarin V., Kozlov V., Zubarev K. Determination of Maximum Moisture Zone on Enclosing Structures: Sustainable Buildings in Cold Climates // Cold Climate HVAC. 2019. P. 925–932. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00662-4_78.

REFERENCES

1. Bobryshev V.V. Single-layer and multi-layer building envelopes. *Molodoi uchenyi = Young scientist*. 2018;47:34–37. (In Russ.). EDN: YOYXOH.

2. Romanov I.A. To the question of constructive-technological systems of external walls of residential low-rise buildings. *Molodoi uchenyi = Young*

scientist. 2019;22:134–138. (In Russ.). EDN: MDXOQC.

3. Musorina T.A., Gamayunova O.S., Petrichenko M.R. Substantiation of constructive measures to increase the energy efficiency of wall enclosures. *Vestnik MGSU*. 2017;12(11):1269–1277. (In Russ.). EDN: TAUMWV.

4. Yokubova M.T. The role of heat containing walls in increasing the energy efficiency of buildings. *Scientific progress*. 2022;3(4):85-88.
5. Gnezdilova O., Kudryavtseva V., Terenteva N. Modern effective technologies applied for constructing external walls. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;828(1):012008. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/828/1/012008>.
6. Khatina E.V. Dynamic thermal insulation of enclosing structures of buildings. *Polzunovskiy vestnik*. 2011;1:224-228. (In Russ.). EDN: OCSKIR.
7. Vatolkin S.M. Effect of insulation types on the quality of multilayer building structures. *Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri*. 2003;1:22-24. (In Russ.).
8. Emelianova N.A. Studying technological aspects of cast thermal insulant application in building envelopes. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk state technical university*. 2014;12:116-120. EDN: RHIBPE.
9. Moskvitin V.A., Emelyanova N.A., Mashovich A.Y. Experimental studies of air permeability indicators of composite "Poroplast CF". *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2019;9(2):342-353. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-2-342-353>. EDN: XCGLQU.
10. Moskvitin V.A., Pinus B.I., Emelianova N.A., Moskvitin D.V. Longevity of layered frame structures with cast aggregates. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2015;4:151-158. EDN: VHDRGF.
11. Sakmarova L.A., Bakhmisova M.A. Multilayer barrier constructions, and their properties under temperature impact. In: *Novoe v arkhitekture, proektirovanii stroitel'nykh konstruksii i rekonstruksii: materialy IV Mezhdunarodnoi (X Vserossiiskoi) konferentsii = New in architecture, design of building structures and reconstruction: materials of the IV International (X All-Russian) conference*. 21-22 November 2018, Cheboksary. Cheboksary: Chuvash State University named after I.N. Ulyanova; 2018. p. 88-96.
12. Tojiboyev B.T. Development of thermal insulation materials with low thermal conductivity on the basis of local raw materials. *Scientific progress*. 2021;2(8):340-345.
13. Mokhammed A.R., Naimi S. The Effectiveness of Thermal Insulation of the Exterior Composite Walls of Buildings in Iraq Based on Different Materials and Climate Regions using Engineering Applications. *International Journal of Intelligent Systems and Application in Engineering*. 2023;11(4s):594-601.
14. Sigachev N.P. Calculation of non-stationary thermal processes taking into account air exchange and the problem of rationing the thermal protection of buildings // *Express-Information. Series Construction, design*. 2001. No. 1. pp. 23-33.
15. Silaenkov E.S. Method for determining the durability of the system of insulation of external walls with an effective insulation // *Stroitelnye materialy*. 2001. No. 1. pp. 15-17.
16. Rhee-Duverne S., McCaig I., Orr S., Zhang H., Viles H.A. Assessing moisture in porous traditional building materials. *1st International Conference on Moisture in Buildings 2021 (ICMB21)*. 28-29 June 2021, London. London: UCL; 2021. <https://doi.org/10.14293/ICMB210054>.
17. Kheifets L.I., Neimark A.V. Multiphase processes in porous media. Moscow: Khimiya; 1982. 320 p. (In Russ.).
18. Karnaukhov A.P. Adsorption. Texture of dispersed and porous materials. Novosibirsk: Nauka. Siberian Enterprise of the Russian Academy of Sciences; 1999. 470 p. (In Russ.).
19. Tushina V., Tushin A., Alekperov R. Experimental and theoretical studies of the thermal efficiency of multilayer non-uniform building enclosures. *Journal of Building Engineering*. 2022;45:103439. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103439>. EDN: MIJVBR.
20. Gnezdilova O.A. Evaluation of the heat-shielding qualities of the building envelope. *Nauchnoe obozrenie*. 2007;1:55-57. (In Russ.).
21. Criteria for assessing the quality and choice of heat-insulating materials. *Building Technologies*. 2005;2:5-15. (In Russ.).
22. Vatin N.I., Pestryakov I.I., Sultanov Sh.T., Ogidan T., Yarunicheva Y.A., Kiryushina A.P. Water vapour by diffusion and mineral wool thermal insulation materials. *Magazine of Civil Engineering*. 2018;5(81): (In Russ.).
23. Khlevchuk V.R. Bessonov I.V., Rummyantseva I.A., Sigachev N.P. et al. To the question of the stability of foam plastics and fibrous insulation in building envelopes. *Sat. reports: Problems of building thermal physics of microclimate and energy saving systems in buildings*. Moscow: NIISF. 2001. S. 255-258.
24. Gnezdilova O. A. Study of the influence of operational factors on the thermal conductivity of "Poroplast CF02". *Problems and prospects of research, design, construction and operation of railways: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation*. Irkutsk: IrGUPS, 2009. T. 1. P. 169-173.
25. Moskvitin V.A., Pinus B.I., Emelyanova N.A. Efficiency of using cast heaters in low-rise building walling. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk state technical university*. 2013;2:110-114. EDN: PWMETR.
26. Moskvitin V.A., Shishkin A.V., Gnezdilova O.A. and others. Efficient layered stone exterior structures with thermal insulation from the "Poroplast

CF02" composite. TU 5741-002-16602333-2006: approval 000 "Foamplast", LLC "Irkut-Invest". Irkutsk. 2006. 16 p.

27. Gnezdilova O.A., Moskvitin V.A. Heat-Energy-Saving Enclosing Structures with Poroplast CF02 Composite Insulation. *Mounting and Special Works in Construction*. 2007;2:2-6.

28. Xu Ch., Li Sh., Zou K. Study of Heat and Moisture Transfer in Internal and External Wall Insulation

Configurations. *Journal of Building Engineering*. 2019. Vol. 24.

<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.02.016>.

29. Gagarin V., Kozlov V., Zubarev K. Determination of Maximum Moisture Zone on Enclosing Structures: Sustainable Buildings in Cold Climates. *Cold Climate HVAC*. 2019. p. 925–932. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00662-4_78.

Информация об авторе

Емельянова Наталья Александровна,
старший преподаватель кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: ena6767@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7692-4424>

Information about the author

Natalia A. Emelyanova,
Senior lecturer of the Department
of Construction Production,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: ena6767@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7692-4424>

Вклад автора

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the author

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

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

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by the author.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 20.03.2023.
Одобрена после рецензирования 24.04.2023.
Принята к публикации 25.04.2023.

Information about the article

The article was submitted 20.03.2023.
Approved after reviewing 24.04.2023.
Accepted for publication 25.04.2023.