



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 692.232.7

DOI: 10.52957/27821919_2022_3_7

Оценка температурно-влажностных и теплотехнических показателей каркасно-панельных стен с трехлетним периодом эксплуатации

А.А. Мамонтов, В.П. Ярцев, П.В. Монастырев

Александр Александрович Мамонтов

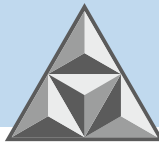
Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Российская Федерация
sansanich1409@yandex.ru

Виктор Петрович Ярцев

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Российская Федерация
jarcev21@rambler.ru

Павел Владиславович Монастырев

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Российская Федерация
monastyrev68@mail.ru



Посредством натурных испытаний каркасно-панельных стен с различными утеплителями, выполненных в течение трех отопительных периодов, обнаружено трехкратное увеличение влажности беспрессового пенополистирола и рост его теплопроводности на 23%. Эффективность применения данного материала в таких ограждениях на 20% ниже по сравнению с минераловатными и пенополистирольными экструзионными плитами.

Ключевые слова: влажность, испытания натурные, стены каркасно-панельные, температура, теплопроводность, утеплитель, энергозатраты

Для цитирования:

Мамонтов А.А., Ярцев В.П., Монастырев П.В. Оценка температурно-влажностных и теплотехнических показателей каркасно-панельных стен с трехлетним периодом эксплуатации // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 3. С. 7-15. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022.

DOI: 10.52957/27821919_2022_3_7



RESEARCH PAPER

DOI: 10.52957/27821919_2022_3_7

Assessment of temperature-humidity and heat engineering indicators of frame-panel walls with a three-year period of operation

A.A. Mamontov, V.P. Yartsev, P.V. Monastyrev

Alexander A. Mamontov

Tambov State Technical University, Tambov, Russia

sansanich1409@yandex.ru

Victor P. Yartsev

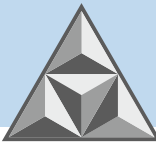
Tambov State Technical University, Tambov, Russia

jarcev21@rambler.ru

Pavel V. Monastyrev

Tambov State Technical University, Tambov, Russia

monastyrev68@mail.ru



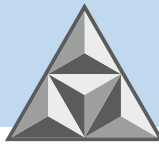
By means of full-scale tests of frame-panel walls with a various insulation materials, performed during three heating periods, a 3-fold increase in the humidity of expanded polystyrene foam and an increase in its thermal conductivity by 23% was found. Its using efficiency in such panels is 20% lower compared to mineral wool slabs and extruded polystyrene slabs.

Key words: humidity, full-scale tests, frame-panel walls, temperature, thermal conductivity, insulation, energy consumption

For citation:

Mamontov, A.A., Yartsev, V.P. & Monastyrev, P.V. (2022) Assessment of temperature-humidity and heat engineering indicators of frame-panel walls with a three-year period of operation, *Smart Composite in Construction*, 3(3), pp. 7-15 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N3_2022 (in Russian).

DOI: 10.52957/27821919_2022_3_7



ВВЕДЕНИЕ

Строительство энергоэффективных индивидуальных домов с каркасно-панельными ограждающими конструкциями в настоящее время получает всё большее распространение не только за рубежом, но и на территории нашей страны [1]. Этому способствуют малая продолжительность, относительная простота и дешевизна строительно-монтажных работ, обусловленные высокой степенью заводской готовности конструкций. Производственный контроль качества и ремонтпригодность панелей значительно увеличивают срок службы состоящего из них дома. В сравнении с традиционными ограждениями каркасно-панельные стены, характеризующиеся высокими теплоизоляционными качествами, имеют меньшую толщину, что при одинаковом пятне застройки увеличивает полезную площадь помещений.

В отечественной практике строительства домов наибольшее применение нашли каркасные панели с теплоизоляционными плитами из минеральной ваты, беспрессового или экструзионного пенополистирола. Каждый из указанных материалов имеет свои достоинства и недостатки, которые проявляются в той или иной степени в зависимости от множества факторов [2-4]. В связи с этим существует проблема выбора утеплителя, обеспечивающего наибольшую теплотехническую эффективность и эксплуатационную надежность каркасно-панельных ограждающих конструкций.

Следует полагать, что принятие верного решения должно основываться не только на основании установленных в лабораторных условиях значениях показателей качества материалов, но и с учетом конструктивных решений ограждений и протекающих при их эксплуатации процессов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В 2013 году на территории исследовательского полигона «Испытания строительных материалов и ограждающих конструкций в натуральных условиях эксплуатации» кафедры «Конструкции зданий и сооружений» Тамбовского государственного технического университета было возведено экспериментальное строение с каркасно-панельными ограждающими конструкциями (рис. 1). Стены объекта состоят из деревянного каркаса, обшитого листами гипсокартона с внутренней и декоративными цементно-стружечными плитами с внешней стороны. В качестве утеплителей в стенах установлены минераловатные, пенополистирольные беспрессовые и экструзионные плиты. Толщина теплоизоляционных слоев определялась на основании теплотехнического расчета ограждений, выполненного с учетом заявленных производителями характеристик материалов, и составила 150 мм для минераловатного и 100 мм для пенополистирольного утеплителя.

В течение трех отопительных периодов внутри объекта посредством масляного радиатора с термостатом и датчиком температуры, а также автоматического увлажнителя воздуха поддерживался заданный температурно-влажностный режим. За температурой и влажностью воздуха внутри и снаружи строения наблюдали посредством погодной станции с дистанционным датчиком, размещенным на теневой стороне объекта. В фиксированных точках стеновых ограждений на глубине 2 см от внутренней и внешней поверхностей теплоизоляционного слоя были установлены термодары открытого типа для систематического измерения температуры. Относительная влажность и теплопроводность утеплителей определялись на отбираемых образцах, устанавливаемых на прежнее место после испытания. Расход затрачиваемой на отопление электроэнергии



рассчитывался по показаниям счетчика. На основе полученных данных проводился сравнительный анализ энергетической эффективности применения различных утеплителей в каркасно-панельных стеновых ограждениях [5].



Рис. 1. Общий вид экспериментального строения

Fig. 1. General view of the experimental structure

В течение четвертого отопительного периода проводились аналогичные испытания, в ходе которых дополнительно планировалось определить характер изменений показателей теплоизоляционных материалов и ограждений в целом, вызванных трехлетней эксплуатацией объекта.

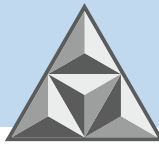
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдения показали, что при относительно постоянной влажности наружного воздуха (65%) влажность внутреннего уменьшилась на 45% в течение первых 5 недель испытаний и осталась такой до конца отопительного периода. Снижение влажности внутреннего воздуха вызвано интенсивной работой отопительного прибора и отсутствием в строении оконных проемов и принудительной вентиляции.

Исследование влажности утеплителей в стенах выявило наибольшее её значение (10%) в слое из беспрепоровых пенополистирольных плит ПСБ-С-15. Это в три раза больше влажности, зафиксированной в первый год эксплуатации объекта. Рост влажности, вероятно, вызван увеличением объема открытой пористости, что обусловлено деструкцией пенополистирола, происходящей в течение нескольких лет [6]. Влажность минераловатных и экструзионных пенополистирольных плит в первые восемь недель не превышала 3%, а затем уменьшилась до 1% (рис. 2).

При исследовании температурного режима измерялись температуры воздуха внутри и снаружи строения, а также температуры поверхностей теплоизоляционных слоев в стенах (рис. 3). В период с установившимися отрицательными температурами средняя температура внутреннего воздуха составляла 19 °С, а наружного – минус 6 °С. Средняя температура теплоизоляционных слоев находилась в пределах от 10 до 18 °С. Минимальное значение наблюдалось в минераловатных плитах с гидро-ветрозащитной мембраной, а максимальное – в пенополистирольных экструзионных плитах.

По результатам измерения температур на противоположных гранях теплоизоляционных слоев определялась величина их удельного перепада (°С/м), среднее значение которой составило: в слое из минераловатных плит с гидро-ветрозащитной мембраной - 101; в слое из минераловатных плит - 97; в слое из экструзионного пенополистирола - 123; в слое из



беспрессового пенополистирола - 67. Минимальным перепадом отличалась изоляция из беспрессового пенополистирола ПСБ-С-15, что обусловлено его повышенной эксплуатационной влажностью и наибольшим значением коэффициента теплопроводности. Максимальное значение для экструзионного пенополистирола является весьма характерным, учитывая его наименьшую из рассматриваемых утеплителей влажность и теплопроводность.

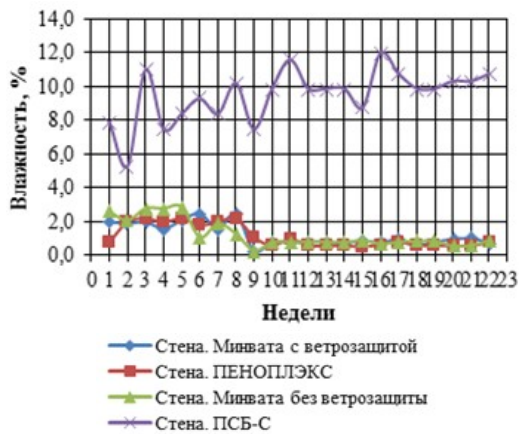


Рис. 2. Изменение относительной влажности утеплителей в течение отопительного периода

Fig. 2. Change in relative humidity of insulation during the heating period

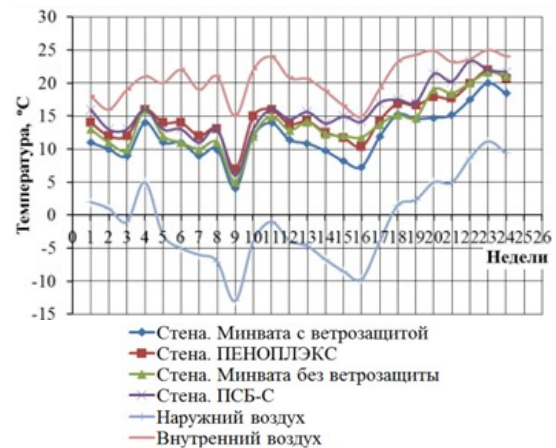


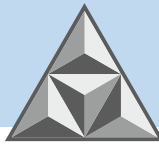
Рис. 3. Изменение температуры воздуха внутри и снаружи строения, температуры утеплителей в течение отопительного периода

Fig. 3. Change in air temperature inside and outside the building, insulation temperature during the heating period

Приведенное сопротивление теплопередаче каркасно-панельных стен при их одинаковой конструкции и разных утеплителях определяется в большей степени термическим сопротивлением последних. Термическое сопротивление теплоизоляционного слоя прямо пропорционально перепаду температур по его толщине [7]. На основании полученных результатов можно заключить, что по сравнению со стеной, утепленной беспрессовым пенополистиролом, сопротивление теплопередаче стены с минераловатными плитами больше в 1.5 раза, а стены с экструзионным пенополистиролом - в 1.8 раза.

Ежемесячные измерения коэффициента теплопроводности образцов, извлекаемых из теплоизоляционных слоев стеновых ограждений, показали стабильность их теплофизических характеристик в течение отопительного периода. Наибольшее значение, составляющее в среднем 0.054 Вт/(м·К), отмечалось у беспрессового пенополистирола ПСБ-С-15. Для изоляции из минераловатных плит коэффициент теплопроводности составил 0.037 Вт/(м·К). Минимальной теплопроводностью (0.034 Вт/(м·К)) отличалась изоляция из экструзионного пенополистирола.

Результаты натурных испытаний, выполненных спустя три года, выявили увеличение на 23% теплопроводности беспрессового пенополистирола. За такой же период эксплуатации теплопроводность минераловатных плит и экструзионного пенополистирола увеличилась всего на 3%. Подобное негативное изменение характеристик беспрессового пенополистирола обусловлено его низкой плотностью (7.2 кг/м^3) и особенностями макростроения, что необходимо учитывать при проектировании каркасно-панельных стен с его применением [8]. Данный материал характеризуется нестабильностью свойств во времени, что обусловлено, в первую очередь, особенностями его макростроения, которое оказывает преобладающее влияние на свойства изделий [9]. В этом плане применение плит из экструзионных материалов, отличающихся высокой стабильностью свойств во времени [10], является предпочтительным.



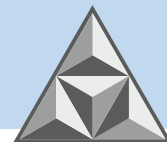
В течение отопительного периода фиксировались показания счетчика потребления электроэнергии с целью определения её расхода на отопление экспериментального строения с площадью 9 м². Среднее значение суточного расхода электроэнергии составило 14 кВт·ч, а полное значение энергозатрат за последний отопительный период - 2243 кВт·ч.

ВЫВОДЫ

Учитывая полученное экспериментально соотношение величин приведенных сопротивлений теплопередачи стен, а также соответствующее распределение между ними тепловых потерь, можно констатировать, что утепление каркасно-панельных стен беспрессовым пенополистиролом низкой плотности сопровождается увеличенным на 20% потреблением энергии на отопление объекта по сравнению с минераловатными и экструзионными плитами. В каркасных ограждающих конструкциях рекомендуется применять плиты беспрессового пенополистирола с плотностью не менее 35 кг/м³ либо использовать плиты экструзионного пенополистирола, отличающиеся равномерной мелкоячеистой и закрытопористой структурой, стабильностью свойств во времени.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Zaborova D.D., Musorina T.A.** Environmental and energy-efficiency considerations for selecting building envelopes // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. No 10. P. 5914. URL: <https://doi.org/10.3390/su14105914>
2. **Ivantsov A.I.** Comparative longevity of enclosing structures depending on climatic conditions and architectural and constructive characteristics of buildings // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. P. 022077. DOI: 10.1088/1757-899X/463/2/022077
3. **Gamayunova O., Musorina T., Petrichenko M., Goremikins V.** Warming of panel houses in various climatic zones // *Proceedings of ECEE 2019. Energy, Environmental and Construction Engineering*. Cham, 2020. P. 253-263. DOI: 10.1007/978-3-030-42351-3_22
4. **Dileep Kumar, Morshed Alam, Patrick X.W. Zou, Jay G. Sanjayan, Rizwan Ahmed Memon.** Comparative analysis of building insulation material properties and performance // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020. Vol. 131. P. 110038. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110038>
5. **Ярцев В.П., Струлев С.А., Мамонтов А.А.** Обоснование выбора теплоизоляционных материалов для ограждающих конструкций каркасно-щитового здания // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2015. № 1 (10). С. 15-20.
6. **Мамонтов С. А., Киселева О.А.** Влияние старения на структуру и свойства пенополистирола // *Пластические массы*. 2011. № 5. С. 3-5.
7. **Фокин К.Ф.** Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: Стройиздат, 1973. 287 с.
8. **Mihlayanlar E., Dilmaç Ş., Güner A.** Analysis of the effect of production process parameters and density of expanded polystyrene insulation boards on mechanical properties and thermal conductivity // *Materials & Design*. 2008. Vol. 29(2). P. 344-352. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2007.01.032>
9. **Егорова, Е.И., Коптенармусов В.Б.** Основы технологии полистирольных пластиков. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2005. 272 с.
10. **Аношин Н.М., Аракелян А.С., Беноганян Н.В. [и др.].** Решение задач в области энергоэффективности. Екатеринбург: Изд-во «Аграф». 2019. 214 с.



Поступила в редакцию 23.08.2022

Одобрена после рецензирования 02.09.2022

Принята к опубликованию 15.09.2022

REFERENCES

1. **Zaborova, D.D. & Musorina, T.A.** (2022) Environmental and energy-efficiency considerations for selecting building envelopes, *Sustainability*, 14(10), pp. 5914 [online]. Available at: <https://doi.org/10.3390/su14105914>
2. **Ivantsov, A.I.** (2018) Comparative longevity of enclosing structures depending on climatic conditions and architectural and constructive characteristics of buildings, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 022077. DOI: 10.1088/1757-899X/463/2/022077.
3. **Gamayunova, O., Musorina, T., Petrichenko, M. & Goremikins, V.** (2020) Warming of panel houses in various climatic zones, *Proceedings of EECE 2019. Energy, Environmental and Construction Engineering. Cham.*, pp. 253-263. DOI: 10.1007/978-3-030-42351-3_22.
4. **Dileep Kumar, Morshed Alam, Patrick X.W. Zou, Jay G. Sanjayan & Rizwan Ahmed Memon** (2020) Comparative analysis of building insulation material properties and performance, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131, 110038 [online]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110038>
5. **Yarcev, V.P., Strulev, S.A. & Mamontov, A.A.** (2015) Justification of the choice of heat-insulating materials for protecting designs of the frame and panel board building, *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Fiziko-himicheskie problemy i vysokie tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniya*, 1(10), pp. 15-20 (in Russian).
6. **Mamontov, S.A. & Kiseleva, O.A.** (2011) The influence of the ageing process on the structure and characteristics of the polysterene foam, *Plasticheskie massy*, (5), pp. 3-5 (in Russian).
7. **Fokin, K.F.** (1973) *Construction heat engineering of enclosing parts of buildings*. M.: Stroyizdat (in Russian).
8. **Mıhlayanlar, E., Dilmaç, Ş. & Güner, A.** (2008) Analysis of the effect of production process parameters and density of expanded polystyrene insulation boards on mechanical properties and thermal conductivity. *Materials & Design*. 29(2), pp. 344-352 [online]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2007.01.032>
9. **Egorova, E.I. & Koptenarmusov, V.B.** (2005) *Fundamentals of polystyrene plastics technology*. St. Petersburg: HIMIZDAT (in Russian).
10. **Anoshin, N.M., Arakelyan, A.S. Benogonyan, N.V. & [et al.]**. (2019) *Solving problems in the field of energy efficiency*. Yekaterinburg: Publishing house "Agraf" (in Russian).

Received 23.08.2022

Approved after reviewing 02.09.2022

Accepted 15.09.2022