

МАТЕРИАЛЫ

Научная статья

УДК 699.865

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.19>

EDN: OCUBTH

Сравнение теплоизоляционных свойств различных видов утеплителя для строительства многоквартирных жилых домов

С. Н. Анисимов[✉], Т. И. Ломоносова, И. Р. Ильина, А. Ю. Лешканов

Поволжский государственный технологический университет (г. Йошкар-Ола)

AnisimovSN@volgatech.net[✉]

Аннотация

Введение. В современных условиях устойчивого развития и увеличения потребления энергии вопрос выбора наиболее энергоэффективного утеплителя становится особенно актуальным. Эффективность утепления является важным фактором как для строительства новых зданий, так и для проведения ремонта в существующих. Слишком часто выбор утеплителя основывается лишь на цене или доступности, что может привести к нежелательным последствиям. Поэтому при выборе утеплителя следует учитывать такие параметры, как теплоизоляционные свойства, устойчивость к влаге, паропроницаемость и экологическая безопасность материалов. Современные технологии предлагают широкий спектр утеплителей – от традиционных минеральных ват до инновационных решений на основе экополимеров. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, что требует тщательного анализа перед принятием решения. Таким образом, важность правильного выбора утеплителя нельзя недооценивать. Эффективное утепление не только снижает расходы на отопление, но и способствует созданию более устойчивого и экологически чистого строительного сектора, что непосредственно влияет на качество жизни каждого человека.

Цель работы – сравнительный анализ результатов исследования различных теплоизоляционных материалов ограждающих конструкций, направленный на выявление самых эффективных утеплителей с точки зрения соотношения цены и теплотехнических свойств.

Материалы и методы. В ходе работы проведена оценка термоизоляционных свойств, устойчивости к влаге, огнестойкости и долговечности различных утеплителей, а также стоимости утепления многоквартирного жилого дома в г. Йошкар-Оле. Для сравнения были выбраны семь теплоизоляционных материалов: минеральная (каменная) вата (75-120 кг/м³); стекловата плита П-85; экструдированный пенополистирол (40 кг/м³); пенополистирол ПСБ-50; полистиролбетон (200 кг/м³); газосиликат автоклавный (D600); эковата (60 кг/м³).

Выводы. Наиболее эффективным теплоизоляционным материалом можно назвать минераловатный утеплитель. Помимо высоких теплоизоляционных свойств и невысокой стоимости, минеральная вата обладает рядом преимуществ, которые делают ее особенно привлекательной для использования в строительстве.

Ключевые слова: строительные материалы; утеплитель; тепловые потери; сопротивление теплопередаче; энергоэффективность.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Сравнение теплоизоляционных свойств различных видов утеплителя для строительства многоквартирных жилых домов / С. Н. Анисимов, Т. И. Ломоносова, И. Р. Ильина, А. Ю. Лешканов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2025. № 1 (33). С. 19–28. <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.19>; EDN: OCUBTH

Введение

С учетом мировых тенденций к урбанизации вопрос энергетической эффективности зданий стал объектом повышенного интереса среди исследователей. Конструкция ограждающих элементов зданий играет ключевую роль в уменьшении потребления энергии, составляющего половину от общего энергетического расхода. Разнообразные типы стен имеют различные теплотехнические характеристики и срок службы, что делает системы внешней теплоизоляции все более популярными, так как их применение гораздо эффективнее для устранения тепловых потерь. В то же время возросло использование внешних изоляционных систем по сравнению с внутренними, которые часто приводят к конденсации водяного пара и, как следствие, к повреждениям конструкции.

На возведение стен дома приходится примерно 25 % от всех строительных расходов. При неаккуратном выборе материалов для стен возможно возникновение дополнительных затрат. Поэтому крайне важно учитывать ключевые критерии при выборе оптимального материала для стен: теплоизоляционные свойства и стоимость строительства.

Цель исследования – изучение эффективности применения утеплителя постоянной толщины в ограждающих конструкциях в зависимости от теплотехнических свойств.

Задачи исследования: провести теоретический обзор существующих типов утепления ограждающих конструкций, рассчитать термическое сопротивление ограждающей конструкции с учетом минимальной толщины применяемого утеплителя, сравнить результаты исследования.

Материалы и методы исследования

В настоящее время наиболее эффективным методом утепления является внешняя установка теплоизоляционных материалов. Мы имеем широкий ассортимент теплоизоляционных материалов и способов их расположения в структуре стены, поэто-

му существует множество конструктивных решений внешней теплоизоляции.

Ниже кратко рассмотрим самые распространённые теплоизоляционные материалы, используемые в строительстве.

Минеральная вата – волокнистый материал, получаемый из силикатных расплавов горных пород, металлургических шлаков и других силикатных промышленных отходов или их смесей. Материал состоит из тончайших взаимно переплетающихся волокон, находящихся в стекловидном состоянии, и неволоконистых включений в виде капель застывшего расплава. Может иметь различную структуру волокнистости, заданную технологически: горизонтально-слоистую, вертикально-слоистую, гофрированную или пространственную, что расширяет возможности её применения в тех или иных конструкциях.

Стекловата – волокнистый минеральный теплоизоляционный материал, разновидность минеральной ваты. Для получения стеклянного волокна используют то же сырьё, что и для производства обычного стекла или отходы стекольной промышленности. По свойствам стекловата (стекловолокно) отличается от других типов минеральной ваты. Волокно стеклянной ваты имеет толщину 3–15 мкм, а длину минимум в 2–4 раза большую, чем у каменной ваты. Благодаря этому изделия из стеклянной ваты обладают повышенной упругостью и прочностью. Стеклянная вата практически не содержит неволоконистых включений и обладает высокой вибростойкостью.

Экструзионный пенополистирол (ЭППС) – синтетический теплоизоляционный материал. Экструзионный пенополистирол получают путём смешивания гранул полистирола при повышенных температуре и давлении с введением вспенивающего агента и последующим выдавливанием из экструдера. Качественный экструзионный пенополистирол обладает равномерной закрытопористой структурой, диаметр ячеек составляет 0,1–0,2 мм.

Пенополистирол (ПСБ – пенополистирол суспензионный беспрессовый) – материал с плотной пористой структурой. Изготавливают из полимерного сырья с применением высокой температуры, воздействия пара. В процессе производства основу вспенивают, увеличенные молекулы полистирола образуют новые соединения. Готовый материал содержит приблизительно 98 % воздуха в порах.

Полистиролбетон (разновидность лёгкого бетона) – современный композиционный строительный материал, получаемый путем сочетания вспененного полистирола, СДО и цемента, обладающий рядом особых свойств, которые делают его привлекательным для использования в различных строительных проектах. Одной из главных особенностей полистиролбетона является его легкость. Благодаря низкой плотности материала он обеспечивает значительное снижение веса конструкции без потери прочности.

Газосиликат – разновидность ячеистых материалов, получаемая из смеси извести, молотого или мелкого песка и воды с газообразующими (порообразующими) добавками, с применением обычно автоклавной обработки для ускорения твердения. Из газосиликата изготавливают специальные блоки стандарта ГОСТ 21520-89 (утратил силу на территории Республики Беларусь, заменен на СТБ 1117-98 «Блоки из ячеистых бетонов стеновые. Технические условия») – блоки из ячеистого бетона.

Целлюлозный утеплитель (целлюлозная вата, «эковата») – рыхлый, лёгкий волокнистый строительный изоляционный материал серого или светло-серого цвета, применяется как утеплитель. Состоит примерно на 80 % из газетной бумаги/макулатуры и на 20 % из нелетучих flame-retardant веществ, в качестве которых чаще всего используются борная кислота и бора.

Определение коэффициента теплопроводности теплоизоляционных матери-

алов проводилось на приборе ИТС-1 (рис. 1) по методике ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме». Далее выполнялся теплотехнический расчет ограждающих конструкций по СП 50.13330.2024 «Тепловая защита зданий».



Рисунок 1. Измеритель теплопроводности ИТС-1

Fig. 1. Thermal conductivity meter ITS-1

Результаты и обсуждение

Сравним основные теплоизоляционные свойства материалов на 1 квадратный метр с учетом одинаковых условий строения стены. Внутренняя стена выполнена из кирпичной кладки на цементно-песчаном растворе толщиной 380 мм. Внешняя стена из того же материала, но толщиной 120 мм. Облицовка выполнена гипсовой штукатуркой толщиной 5 мм и цементно-песчаным раствором толщиной 20 мм. С двух сторон от утеплителя расположены пароизоляционные мембраны толщиной 0,1 мм для обеспечения параметра влагостойкости.

На рисунке 2 представлен послойный состав рассматриваемой стены.

Результаты расчета теплоизоляционных свойств стены из различных видов утеплителя обобщены в таблице 1. Выбиралась минимальная толщина утеплителя, удовлетворяющая критериям тепловой защиты и защиты от переувлажнения. Расчет производился с учетом климатиче-

ских условий г. Йошкар-Олы (Республика Марий Эл). В качестве температуры наружного воздуха в зимний период вре-

мени был выбран средний показатель наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92: -31°C .

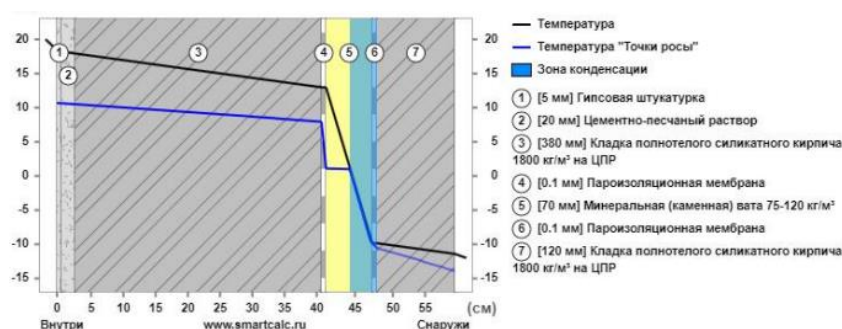


Рисунок 2. Строение стены

Fig. 2. Construction of the wall

Рассмотрены материалы, используемые в качестве теплоизоляции, а именно: минеральная (каменная) вата (75–120 кг/м^3); стекловата плита П-85; экструдированный пенополистирол (40 кг/м^3); пенополистирол ПСБ-50; полистиролбетон (200 кг/м^3);

газосиликат автоклавный (D600); эковата (60 кг/м^3).

Рисунки 3–9 иллюстрируют, как изменяется сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (стены) в зависимости от материала утеплителя.

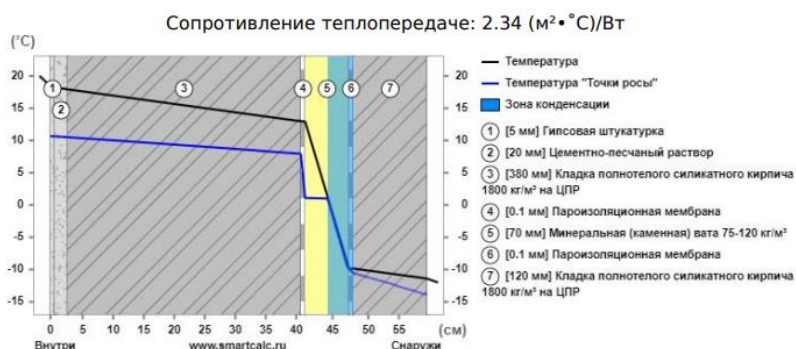


Рисунок 3. Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (стены), утеплитель – минеральная вата

Fig. 3. Thermal resistance of the enclosing structure (wall), insulation – mineral wool

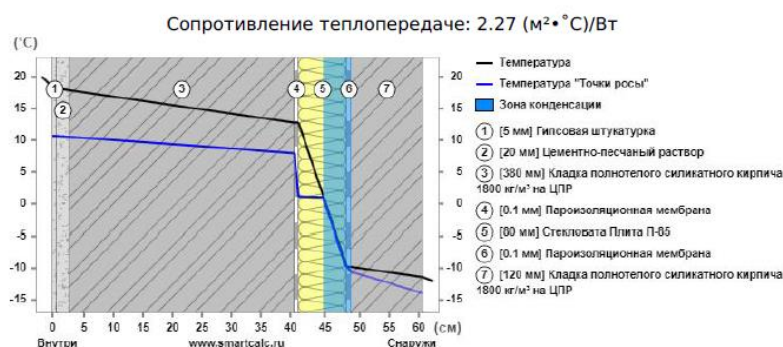


Рисунок 4. Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (стены), утеплитель – стекловата плита П-85

Fig. 4. Thermal resistance of the enclosing structure (wall), insulation – glass wool slab P-85

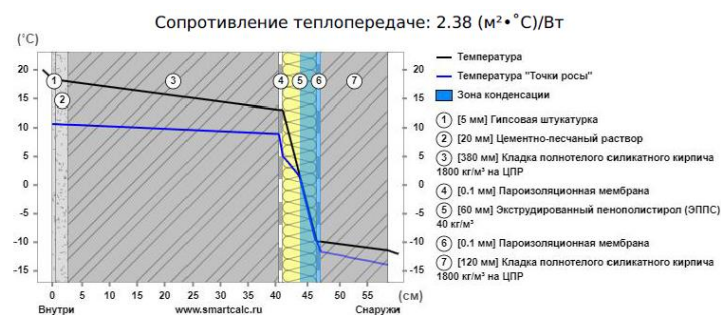


Рисунок 5. Сопrotивление теплопередаче ограждающей конструкции (стены), утеплитель – экструдированный пенополистирол (ЭППС)

Fig. 5. Thermal resistance of the enclosing structure (wall), insulation – extruded polystyrene foam (EPS)

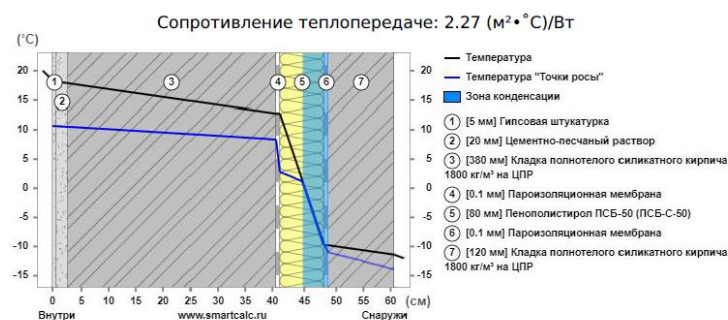


Рисунок 6. Сопrotивление теплопередаче ограждающей конструкции (стены), утеплитель – пенополистирол ПСБ-50

Fig. 6. Thermal resistance of the enclosing structure (wall), insulation – expanded polystyrene PSB-50

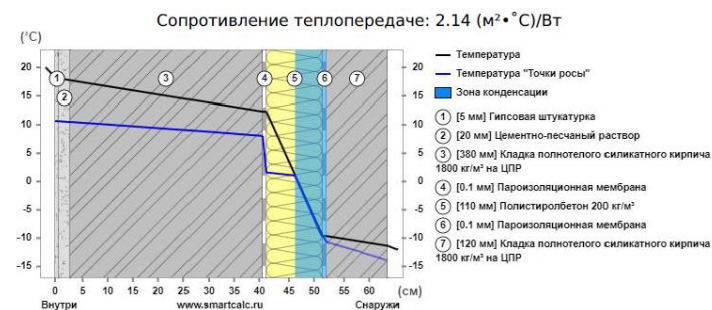


Рисунок 7. Сопrotивление теплопередаче ограждающей конструкции (стены), утеплитель – полистиролбетон

Fig. 7. Thermal resistance of the enclosing structure (wall), insulation – polystyrene concrete

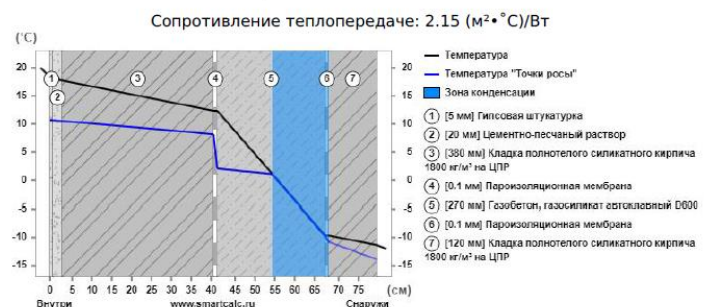


Рисунок 8. Сопrotивление теплопередаче ограждающей конструкции (стены), утеплитель – газобетон, газосиликат автоклавный D600

Fig. 8. Thermal resistance of the enclosing structure (wall), insulation – aerated concrete, autoclaved aerated concrete D600

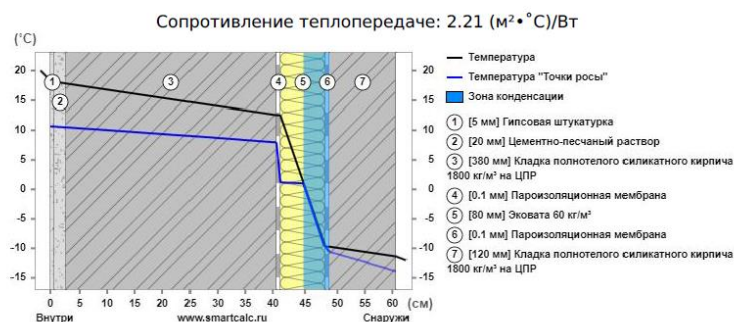


Рисунок 9. Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (стены), утеплитель – эковата
Fig. 9. Thermal resistance of the enclosing structure (wall), insulation – ecowool

Результаты исследования теплоизоляционных свойств и стоимости условной единицы выбранных материалов представлены в таблице 2.

Таблица 1. Результаты исследования теплоизоляционных свойств выбранных материалов
Table 1. Results of the study of thermal insulation properties of selected materials

Наименование утеплителя	Толщина, мм	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	Сопротивление теплопередаче, (м ² ·°C)/Вт	Тепловые потери, кВт·ч	Противопожарные свойства	Долговечность
Минеральная (каменная) вата 75-120 кг/м ³	70	0,042	2,34	54,50	не горит, не поддерживает горение огня	22-35
Стекловата плита П-85	80	0,05	2,27	56,10	не горит, препятствует распространению огня	15-25
Экструдированный пенополистирол (ЭППС) 40 кг/м ³	60	0,035	2,38	53,41	среднегорюч, высокотоксичен при горении	35-45
Пенополистирол ПСБ-50 (ПСБ-С-50)	80	0,05	2,27	56,10	среднегорюч, токсичен при горении	15-50
Полистиролбетон 200 кг/м ³	110	0,075	2,14	59,60	слабогорюч	120
Газобетон, газосиликат автоклавный D600	270	0,183	2,15	59,36	не горит	120
Эковата 60 кг/м ³	170	0,052	2,21	57,66	слабогорюч	50

Из анализа данных, представленных в таблице 1, следует, что сопротивление теплопередаче для минерало- и стекловолоконистых материалов находится в диапазоне от 2,27 до 2,34 (м²·°C)/Вт. Полимерные материалы имеют диапазон сопротивления теплопередаче от 2,27 до 2,38 (м²·°C)/Вт. Для сыпучих материалов сопротивление теплопередаче равно 2,21 (м²·°C)/Вт. Газобетон имеет наимень-

шее сопротивление теплопередаче – 2,15 (м²·°C)/Вт.

Очевидно, что при равных условиях лучшими характеристиками обладает автоклавный газобетон. Однако, несмотря на очевидные преимущества, газобетон имеет один значительный недостаток – высокую цену. То же можно сказать и о полистиролбетоне. Стекловата – недорогой и недолговечный материал со средними тепло-

техническими характеристиками. Пенополистирол имеет то же сопротивление теплопередаче, что и стекловата, но является более долговечным и дорогим. Минераль-

ная вата и экструдированный пенополистирол обладают схожими показателями, но второй при большей стоимости имеет недостатки противопожарных свойств.

Таблица 2. Результаты расчета себестоимости утеплителя в многоквартирном жилом доме

Table 2. Results of calculating the cost price of insulation in an apartment building

Наименование утеплителя	Толщина утеплителя, мм	Площадь ограждающей конструкции, м ²	Объем материала, м ³	Средняя цена за 1 м ³ утеплителя, руб.	Цена на утепление здания, руб.	Цена за утепление 1 м ³ здания, руб.
Минеральная (каменная) вата 75-120 кг/м ³	0,07	6048	423,36	4122,00	1 745 089,92	288,54
Стекловата плита П-85	0,08	6048	483,84	3916,00	1 894 717,44	313,28
Экструдированный пенополистирол (ЭППС) 40 кг/м ³	0,06	6048	362,88	4303,00	1 561 472,64	258,18
Пенополистирол ПСБ-50	0,08	6048	483,84	1056,15	511 007,56	84,49
Полистиролбетон 200 кг/м ³	0,11	6048	665,28	4631,25	3 081 078,00	509,44
Газобетон, газосиликат автоклавный D600	0,27	6048	1632,96	9779,82	15 970 059,89	2640,55
Эковата 60 кг/м ³	0,08	6048	483,84	4709,76	2 278 768,80	376,78

Примечание. Средние цены взяты из исследования рынка стройматериалов Республики Марий Эл

Выводы

Исходя из полученных данных, можно заключить, что оптимальным вариантом с точки зрения соотношения теплоизоляционных характеристик и стоимости для многослойной стены является минеральная вата толщиной 280 мм, так как она имеет хороший показатель сопротивления теплопередаче – 2,34 (м²·°C)/Вт. Данное значение соответствует санитарно-гигиеническим требованиям (показатель 1,29 (м²·°C)/Вт), нормируемому значению поэлементных требований (показатель 2,10 (м²·°C)/Вт) и базовому значению поэлементных требований (показатель 3,33 (м²·°C)/Вт).

Хотя минераловатные плиты могут

быть несколько дороже некоторых альтернативных вариантов, их долговечность и эффективность в итоге оправдывают вложенные средства.

Таким образом, данный вид теплоизоляционного материала можно считать наиболее эффективным по соотношению цены и теплоизоляционных характеристик. Также необходимо отметить такой положительный момент: минеральная вата является негорючим и простым в установке материалом.

Итак, минеральная вата – наиболее выгодный и эффективный теплоизоляционный материал для строительства многоквартирных жилых домов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Способ определения изменений термического сопротивления и коэффициента теплопроводности по толщине наружного стенового ограждения при теплофизических испытаниях в натурных условиях / П. Н. Муреев, С. В. Федосов, В. Г. Котлов [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2021. № 4. С. 55-64. DOI: 10.25686/2542-114X.2021.4.55. EDN: UIUUGG.

2. Кононова О. В., Вайнштейн В. М. Долговечность строительных материалов и конструкций: учебное пособие. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2019. 73 с.
3. Федосов С. В., Анисимов С. Н., Соколов А. М. Методика исследования нестационарного температурного поля при наружном электропрогреве штепсельных соединений железобетонных колонн сборно-монолитных сооружений (Часть 1) // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 2(73). С. 35-42. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-2-35-42. EDN: GKZAQM.
4. Турдалиева М. К. Экспериментальные исследования теплотехнически неоднородных наружных стен многоэтажного жилого дома // Academic research in educational sciences. 2021. № 1. С. 863-867.
5. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании / Н. И. Ватин, Д. В. Немова, П. П. Рымкевич, А. С. Горшков // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 8(34). С. 4-14. EDN: PJWLEX.
6. Техничко-экономическое обоснование по утеплению наружных стен многоквартирного жилого здания с устройством вентилируемого фасада / Д. В. Немова, А. С. Горшков, Н. И. Ватин [и др.] // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 11(26). С. 70-84. EDN: TEDZFN.
7. Черепов В. Д., Дружинина М. А. Анализ целесообразности капитального ремонта многоквартирных домов III и IV групп капитальности (на примере г. Йошкар-Олы): монография. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2018. 217 с.
8. Данилова Н. И. Современные методы утепления фасадов зданий и влияние теплоизоляции наружных стен на энергосбережение здания // Вестник науки. 2023. Т. 4, № 12(69). С. 1441-1447. EDN: XYMYND.
9. Павлычева Е. А., Пикалов Е. С. Современные энергоэффективные конструкционные и облицовочные строительные материалы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 7. С. 76-87. EDN: TJASPQ.
10. Николаенко Р. А., Ермоленко М. В., Степанова О. А. Влияние увлажнения тепловой изоляции на величину тепловых потерь тепловых сетей // Молодой ученый. 2014. № 6(65). С. 207-210. EDN: SBZUIH.

Статья поступила в редакцию 04.12.2024; одобрена после рецензирования 17.12.2024; принята к публикации 27.01.2025

Информация об авторах

АНИСИМОВ Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – строительное материаловедение. Автор более 80 научных публикаций. E-mail: AnisimovSN@volgatech.net

ЛОМОНОСОВА Татьяна Ионовна – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – экономика в строительстве. Автор более 20 научных публикаций. E-mail: LomonosovaTI@volgatech.net

ИЛЬИНА Ирина Родионовна – магистрант кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – энергоэффективность зданий. E-mail: IlyinaIrina231@gmail.com

ЛЕШКАНОВ Андрей Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – строительное материаловедение. Автор более 50 научных публикаций. E-mail: LeshkanovAI@volgatech.net

Вклад авторов:

Анисимов С. Н. – научное руководство, разработка методологии, проведение эксперимента, корректировка статьи;

Ломоносова Т. И. – интерпретация результатов, корректировка статьи;

Ильина И. Р. – проведение эксперимента, обработка и анализ экспериментальных данных, составление статьи;

Лешканов А. Ю. – проведение эксперимента, корректировка статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 699.865

<https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.19>

EDN: OCUBTH

Comparison of thermal insulation properties in different types of insulation used for apartment block construction

S. N. Anisimov[✉], T. I. Lomonosova, I. R. Ilina, A. Iu. Leshkanov

Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola)

AnisimovSN@volgatech.net[✉]

Abstract

Introduction. In the current state of sustainable development and increasing energy consumption, the selection of the most energy-efficient insulation is increasingly relevant. Insulation efficiency is a crucial consideration for both the construction of new buildings and for renovation of existing ones. The choice of insulation is often determined primarily by cost or availability, resulting in unfavourable outcomes. Therefore, when choosing the material, one should evaluate criteria such as thermal insulation capabilities, moisture resistance, vapour permeability, and the environmental safety of materials. Modern technologies offer a wide range of insulation materials, ranging from traditional mineral wool to cutting-edge eco-polymer solutions. Each option possesses distinct advantages and disadvantages, necessitating thorough investigation prior to decision-making. Thus, the importance of choosing the right insulation cannot be underestimated. Effective insulation not only reduces heating costs, but also fosters a more sustainable and eco-friendly construction industry, thereby directly influencing individual quality of life.

The aim of research is to comparatively analyse the results of a study of various thermal insulation materials for enclosing structures, aimed at identifying the most effective insulation materials in terms of the price-thermal properties ratio.

Materials and methods. The study evaluated the thermal insulation characteristics, moisture resistance, fire resistance, durability of several insulation materials, and the expenses associated with insulating an apartment block in Yoshkar-Ola. Seven thermal insulation materials were chosen for comparison: mineral (stone) wool (75-120 kg/m³); glass wool slab P-85; extruded polystyrene foam (EPS) (40 kg/m³); expanded polystyrene PSB-50; polystyrene concrete (200 kg/m³); autoclaved aerated concrete (D600); and ecowool (60 kg/m³).

Conclusions. Research revealed that mineral wool insulation can be regarded as the most effective thermal insulation material. Besides its excellent thermal insulation capabilities and affordability, mineral wool possesses other features that make it particularly appealing for construction applications.

Keywords: building materials; insulation; heat loss; heat transfer resistance; energy efficiency.

Funding. This study was not supported by any external sources of funding.

For citation: Anisimov S. N., Lomonosova T. I., Ilina I. R., Leshkanov A. Iu. Comparison of thermal insulation properties in different types of insulation used for apartment block construction. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2025;(1):19–28. (In Russian). <https://doi.org/10.25686/2542-114X.2025.1.19>; EDN: OCUBTH

REFERENCES

1. Mureev P. N., Fedosov S. V., Kotlov V. G., et al. Determining changes in thermal resistance and thermal conductivity coefficient using the thickness of external wall fence during thermophysical tests in the natural environment. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies.* 2021;(4):55–64. DOI: 10.25686/2542-114X.2021.4.55. EDN: UIUUGG. (In Russ.).
2. Kononova O. V., Weinstein V. M. Durability of building materials and structures: a tutorial. Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2019. 73 p. (In Russ.).

3. Fedosov S. V., Anisimov S. N., Sokolov A. M. Methods of researching the non-stationary temperature field at external electrical heating of plug connections in reinforced concrete columns of precast-monolithic structures (Part 1). *Bulletin of Civil Engineers*. 2019;(2):35-42. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-2-35-42. EDN: GKZAQM. (In Russ.).
4. Turdalieva M. K. Experimental studies of thermal inhomogeneous external walls of a multi-storey residential building. *Academic research in educational sciences*. 2021;(1):863-867. (In Russ.).
5. Vatin N. I., Nemova D. V., Rymkevich P. P., Gorshkov A. S. Influence of building envelope thermal protection on heat loss value in the building. *Magazine of Civil Engineering*. 2012;(8):4-14. EDN: PJWLEX. (In Russ.).
6. Nemova D. V., Gorshkov A. S., Vatin N. I., et al. Technical and economic assessment on actions for heat insulation of external envelopes external walls of apartment building with the double-skin facade. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014;(11):70-84. EDN: TEDZFN. (In Russ.).
7. Cherepov V. D., Druzhinina M. A. Analysis of the feasibility of major repairs of apartment buildings of III and IV capital groups (on the example of Yoshkar-Ola): monograph. Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2018. 217 p. (In Russ.).
8. Danilova N. I. Modern methods of insulation of building facades and the influence of thermal insulation of external walls on the energy saving of a building. *Bulletin of Science*. 2023;4(12):1441-1447. EDN: XYMYHD. (In Russ.).
9. Pavlycheva E. A., Pikalov E. S. Modern energy-efficient structural and facing building materials. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2020;(7):76-87. EDN: TJASPQ. (In Russ.).
10. Nikolaenko R. A., Ermoolenko M. V., Stepanova O. A. Influence of thermal insulation moistening on the amount of heat loss in heating networks. *Young scientist*. 2014;(6):207-210. EDN: SBZUIH. (In Russ.).

The manuscript was submitted on 04.12.2024; reviewed on 17.12.2024;
adopted for publication on 27.01.2025

Information about the authors

ANISIMOV Sergei Nikolaevich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Technologies and Roads, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – construction materials science. Author of more than 80 publications. E-mail: AnisimovSN@volgatech.net

LOMONOSOVA Tatiana Ionovna – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Technologies and Roads, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – economics in construction. Author of more than 20 publications. E-mail: LomonosovaTI@volgatech.net

ILINA Irina Rodionovna – Master's student of the Department of Construction Technologies and Roads, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – energy efficiency of buildings. E-mail: IlyinaIrina231@gmail.com

LESHKANOV Andrei Iurevich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Technologies and Roads, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – construction materials science. Author of more than 50 publications. E-mail: LeshkanovAI@volgatech.net

Contribution of the authors:

Anisimov S. N. – scientific supervision, development of methodology, conducting the experiment, proofreading the article;

Lomonosova T. I. – interpretation of results, proofreading the article;

Ilyina I. R. – conducting the experiment, processing and analyzing experimental data, drafting the article;

Leshkanov A. Iu. – conducting the experiment, proofreading the article.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

The authors reviewed and approved the final version of the manuscript.