Сравнительный анализ современных теплоизоляционных материалов для гражданского строительства

Мифтахов Ислам Ильшатович
студент, кафедра Теплогазоснабжение и вентиляция, Институт инженерно-экологического строительства и механизации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, miftakhov_2501@mail.ru,

Кучин Егор Евгеньевич
кафедра Теплогазоснабжение и вентиляция, Институт инженерно-экологического строительства и механизации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, ekuchav@mail.ru,

Обосян Артур Борисович
кафедра Теплогазоснабжение и вентиляция, Институт инженерно-экологического строительства и механизации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, obosyan04@mail.ru

В статье выполнен сравнительный анализ современных теплоизоляционных материалов, применяемых в гражданском строительстве. Рассмотрены основные виды теплоизоляции, их классификация, технические и эксплуатационные характеристики, а также проведена оценка экономической и экологической эффективности применения. Сопоставлены преимущества и недостатки наиболее распространенных материалов, включая минеральную вату, пенополистирол, экструдированный пенополистирол и пенополиуретан. На основе проведенного анализа предложены рекомендации по выбору теплоизоляционных материалов в зависимости от типа строительной конструкции и рассмотрены перспективные направления развития современных теплоизоляционных технологий. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и строительстве энергоэффективных гражданских зданий.
Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, гражданское строительство, энергоэффективность, минеральная вата, пенополистирол, экструдированный пенополистирол, пенополиуретан, тепловая защита зданий.

Введение

Повышение энергоэффективности зданий является одной из приоритетных задач современного гражданского строительства. Значительная часть теплопотерь приходится на ограждающие конструкции, поэтому применение эффективных теплоизоляционных материалов позволяет снизить энергопотребление, уменьшить эксплуатационные расходы и повысить комфорт эксплуатации зданий. В связи с этим выбор теплоизоляции должен осуществляться с учетом требований нормативных документов, условий эксплуатации и характеристик строительного объекта [1].

Современный рынок предлагает широкий ассортимент теплоизоляционных материалов, различающихся коэффициентом теплопроводности, влагостойкостью, прочностью, пожарной безопасностью, долговечностью и стоимостью. Наиболее распространенными являются минеральная вата, пенополистирол, экструдированный пенополистирол и пенополиуретан, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения [2; 3].

Целью статьи является сравнительный анализ современных теплоизоляционных материалов, применяемых в гражданском строительстве, а также определение наиболее эффективных решений с учетом их технических, эксплуатационных и экономических характеристик [1–5].

1. Современные теплоизоляционные материалы, применяемые в гражданском строительстве

1.1. Классификация теплоизоляционных материалов

Теплоизоляционные материалы являются неотъемлемой частью современных строительных конструкций, обеспечивая снижение теплопотерь, повышение энергоэффективности зданий и создание комфортного микроклимата в помещениях. Их применение позволяет уменьшить расходы на отопление и кондиционирование, а также повысить долговечность ограждающих конструкций за счет снижения температурных деформаций и предотвращения образования конденсата [1].

Согласно ГОСТ 16381–77 теплоизоляционные материалы классифицируются по нескольким признакам, основными из которых являются происхождение сырья, структура, форма выпуска и область применения [4]. По происхождению материалы подразделяются на неорганические, органические и комбинированные. К неорганическим относятся минеральная вата, пеностекло и другие материалы на основе минерального сырья, отличающиеся высокой огнестойкостью и долговечностью. Органические материалы представлены пенополистиролом, экструдированным пенополистиролом, пенополиуретаном, эковатой и другими полимерными или целлюлозными утеплителями, обладающими низкой теплопроводностью и небольшой массой [3; 4].

Наиболее широкое применение в гражданском строительстве получили минераловатные изделия, пенополистирол (EPS), экструдированный пенополистирол (XPS) и пенополиуретан (PUR/PIR). Минеральная вата отличается высокой паропроницаемостью, негорючестью и хорошими звукоизоляционными свойствами, благодаря чему широко используется при утеплении фасадов, кровель и внутренних перегородок. Пенополистирол характеризуется низкой теплопроводностью, небольшим водопоглощением и доступной стоимостью, что делает его востребованным при теплоизоляции стен и перекрытий. Экструдированный пенополистирол обладает повышенной прочностью и влагостойкостью, поэтому применяется преимущественно для утепления фундаментов, цокольных этажей и полов. Пенополиуретан обеспечивает формирование бесшовного теплоизоляционного слоя и отличается одним из самых низких коэффициентов теплопроводности среди традиционных утеплителей [2; 5].

Помимо традиционных материалов, в последние годы активно развиваются экологически безопасные виды теплоизоляции, такие как эковата, древесноволокнистые плиты и утеплители на основе натуральных волокон. Несмотря на относительно ограниченную область применения, их использование обусловлено стремлением к снижению воздействия строительства на окружающую среду и повышению экологической безопасности зданий [2; 3].

Таким образом, современная классификация теплоизоляционных материалов отражает их разнообразие по составу, свойствам и эксплуатационным характеристикам. Выбор конкретного материала определяется требованиями проекта, условиями эксплуатации здания, нормативными требованиями и экономической целесообразностью применения [1].

1.2. Основные эксплуатационные характеристики

Эффективность теплоизоляционного материала определяется совокупностью его эксплуатационных характеристик, оказывающих влияние на энергоэффективность, надежность и долговечность строительных конструкций. При выборе утеплителя учитываются не только его теплоизоляционные свойства, но и способность сохранять эксплуатационные качества в течение всего срока службы здания [1].

Одним из важнейших показателей является коэффициент теплопроводности, характеризующий способность материала передавать тепловую

энергию. Чем ниже значение коэффициента теплопроводности, тем выше теплоизоляционная эффективность материала и тем меньшая толщина утеплителя требуется для достижения нормативного сопротивления теплопередаче [1; 2].

Не менее важными характеристиками являются плотность и прочность материала. Плотность влияет на механическую устойчивость, массу конструкции и удобство монтажа, тогда как прочность определяет возможность применения теплоизоляции в конструкциях, воспринимающих значительные нагрузки, например в полах, фундаментах и эксплуатируемых кровлях [2].

Для обеспечения долговечности теплоизоляционного слоя большое значение имеют водопоглощение и паропроницаемость. Материалы с низким водопоглощением сохраняют свои теплоизоляционные свойства даже при эксплуатации во влажной среде, а оптимальная паропроницаемость способствует удалению водяного пара из ограждающих конструкций, предотвращая образование конденсата и развитие биологических повреждений [1; 3].

При проектировании гражданских зданий особое внимание уделяется пожарной безопасности теплоизоляционных материалов. Наиболее безопасными считаются негорючие материалы на основе минерального сырья, тогда как полимерные утеплители требуют соблюдения дополнительных конструктивных мер противопожарной защиты в соответствии с требованиями нормативной документации [1; 4].

Важным критерием выбора также является долговечность, определяющая способность материала сохранять первоначальные свойства в течение длительного периода эксплуатации без существенного ухудшения теплоизоляционных характеристик. Дополнительно учитываются экономические показатели, включая стоимость материала, затраты на монтаж и эксплуатацию, поскольку именно совокупность технических и экономических факторов определяет эффективность применения конкретного теплоизоляционного решения [2; 5].

2. Сравнительный анализ эффективности современных теплоизоляционных материалов

2.1. Сравнение технических и эксплуатационных характеристик

Выбор теплоизоляционного материала в гражданском строительстве определяется совокупностью его технических и эксплуатационных характеристик. Основными критериями оценки являются коэффициент теплопроводности, плотность, водопоглощение, паропроницаемость, прочность, пожарная безопасность, долговечность и стоимость. Комплексный анализ данных показателей позволяет определить наиболее рациональные области применения различных видов теплоизоляции [1].

Минеральная вата отличается высокой пожарной безопасностью, хорошей паропроницаемостью и эффективными звукоизоляционными свойствами. Благодаря негорючести данный материал широко применяется при утеплении фасадов, кровель и внутренних перегородок. Вместе с тем повышенное водопоглощение требует использования дополнительных гидро- и пароизоляционных слоев, что увеличивает сложность монтажа [2].

Пенополистирол (EPS) характеризуется низкой теплопроводностью, небольшим весом и доступной стоимостью. Материал удобен в монтаже и обеспечивает высокие теплоизоляционные свойства, однако уступает минеральной вате по показателям пожарной безопасности и паропроницаемости, что ограничивает область его применения в отдельных конструкциях [4; 5].

Экструдированный пенополистирол (XPS) обладает более высокой прочностью и минимальным водопоглощением по сравнению с обычным пенополистиролом. Благодаря этим свойствам материал эффективно используется для теплоизоляции фундаментов, цокольных этажей, полов и эксплуатируемых кровель, где утеплитель подвергается значительным механическим и влажностным воздействиям [2; 5].

Пенополиуретан (PUR/PIR) относится к числу наиболее эффективных теплоизоляционных материалов благодаря одному из самых низких коэффициентов теплопроводности. Дополнительным преимуществом является возможность нанесения методом напыления, обеспечивающим формирование бесшовного теплоизоляционного слоя и устранение мостиков холода. Вместе с тем высокая стоимость материала и необходимость применения специализированного оборудования ограничивают его массовое использование [2].

Сравнительный анализ показывает, что универсального теплоизоляционного материала не существует. Минеральная вата является оптимальным решением при повышенных требованиях к пожарной безопасности и паропроницаемости, пенополистирол отличается экономичностью, экструдированный пенополистирол наиболее эффективен при эксплуатации во влажной среде и под нагрузкой, а пенополиуретан обеспечивает максимальную теплоизоляционную эффективность при минимальной толщине слоя. Следовательно, выбор материала должен осуществляться с учетом конструктивных особенностей здания, условий эксплуатации и требований нормативной документации [1–5].

*В зависимости от марки материала и наличия специальных антипиренов.

2.2. Экономическая и экологическая оценка применения теплоизоляционных материалов

Экономическая эффективность теплоизоляционных материалов определяется не только их первоначальной стоимостью, но и затратами на монтаж, сроком службы, расходами на эксплуатацию здания и объемом достигаемой экономии тепловой энергии. Несмотря на различия в стоимости различных видов утеплителей, их применение позволяет существенно снизить затраты на отопление и кондиционирование помещений, что обеспечивает окупаемость вложений в течение срока эксплуатации здания [1].

Таблица 1
Сравнение основных характеристик современных теплоизоляционных материалов

Показатель	Минеральная вата	EPS	XPS	PUR/PIR
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,035–0,045	0,032–0,040	0,028–0,034	0,022–0,028
Водопоглощение	Среднее	Низкое	Очень низкое	Очень низкое
Паропроницаемость	Высокая	Низкая	Очень низкая	Низкая
Прочность на сжатие	Средняя	Средняя	Высокая	Высокая
Пожарная безопасность	Негорючий	Горючий	Горючий	Условно горючий*
Срок службы, лет	До 50	30–40	До 50	40–50
Стоимость	Средняя	Низкая	Средняя	Высокая

Наиболее доступным по стоимости является пенополистирол (EPS), благодаря чему он широко применяется в массовом гражданском строительстве. Экструдированный пенополистирол (XPS) и пенополиуретан характеризуются более высокой стоимостью, однако обладают улучшенными эксплуатационными свойствами, включая повышенную прочность, влагостойкость и низкий коэффициент теплопроводности, что позволяет уменьшить толщину теплоизоляционного слоя и увеличить срок его службы. Минеральная вата занимает промежуточное положение по стоимости, сочетая высокую пожарную безопасность и долговечность с хорошими теплоизоляционными характеристиками [2; 5].

Наряду с экономическими показателями важную роль играет экологическая безопасность теплоизоляционных материалов. Современные требования к строительству предусматривают снижение негативного воздействия на окружающую среду на всех этапах жизненного цикла здания. В связи с этим особое внимание уделяется использованию материалов, безопасных для здоровья человека, обладающих длительным сроком службы и возможностью вторичной переработки [2].

Минеральная вата производится преимущественно из природного минерального сырья и относится к экологически безопасным материалам при соблюдении требований эксплуатации. Эковата изготавливается на основе переработанной целлюлозы и отличается минимальным воздействием на окружающую среду. Полимерные утеплители, включая пенополистирол и пенополиуретан, обладают высокими теплоизоляционными свойствами и позволяют значительно сократить энергопотребление здания, однако их производство и утилизация оказывают большее экологическое воздействие по сравнению с материалами на основе природного сырья [3].

Таким образом, выбор теплоизоляционного материала должен осуществляться с учетом не только его технических характеристик, но и экономической целесообразности и экологической эффективности. Комплексная оценка данных факторов позволяет обеспечить рациональное использование ресурсов, повысить энергоэффективность здания и снизить негативное воздействие строительства на окружающую среду в течение всего жизненного цикла объекта [1–3].

3. Практические рекомендации по выбору теплоизоляционных материалов для гражданского строительства

3.1. Выбор материала в зависимости от типа строительной конструкции

Выбор теплоизоляционного материала должен осуществляться с учетом назначения строительной конструкции, условий эксплуатации, климатических факторов и требований действующих нормативных документов. Использование универсального решения для всех элементов здания не всегда является экономически и технически оправданным, поскольку различные конструкции испытывают неодинаковые механические, температурные и влажностные воздействия [1].

Для наружных стен наиболее рациональным решением является применение минераловатных плит или пенополистирола. Минеральная вата рекомендуется для систем вентилируемых и штукатурных фасадов благодаря высокой паропроницаемости и негорючести. Пенополистирол используется преимущественно в системах наружного утепления, где основными требованиями являются низкая теплопроводность и экономичность [2; 5].

При устройстве кровель выбор материала зависит от типа конструкции. Для скатных кровель предпочтительно использование минераловатных плит, обеспечивающих эффективную теплоизоляцию и пожарную безопасность. Для плоских и эксплуатируемых кровель более целесообразно применение экструдированного пенополистирола, обладающего высокой прочностью и устойчивостью к воздействию влаги [2].

Для фундаментов, цокольных этажей и полов по грунту рекомендуется использовать экструдированный пенополистирол. Благодаря низкому водопоглощению и высокой прочности материал сохраняет эксплуатационные свойства даже при длительном контакте с влажной средой и значительных механических нагрузках [5].

При необходимости создания бесшовной теплоизоляции сложных по форме конструкций эффективным решением является пенополиуретан, который наносится методом напыления и позволяет исключить образование мостиков холода. Такой материал целесообразно применять при утеплении кровель, перекрытий и инженерных конструкций, несмотря на более высокую стоимость по сравнению с традиционными утеплителями [2].

Таким образом, выбор теплоизоляционного материала должен основываться на комплексной оценке его технических характеристик, условий эксплуатации и экономической эффективности. Для большинства фасадных конструкций оптимальным решением является минеральная вата, для фундаментов и полов — экструдированный пенополистирол, для экономичных систем утепления — пенополистирол, а для конструкций сложной формы — пенополиуретан. Такой подход позволяет обеспечить требуемый уровень тепловой защиты, увеличить срок службы здания и снизить эксплуатационные затраты [1–5].

3.2. Перспективные направления развития теплоизоляционных материалов

Развитие строительной отрасли и повышение требований к энергоэффективности зданий способствуют созданию новых теплоизоляционных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Основными направлениями исследований являются снижение коэффициента теплопроводности, повышение долговечности, пожарной безопасности и экологичности материалов, а также уменьшение их массы и толщины при сохранении высокой теплоизоляционной эффективности [2].

Одним из наиболее перспективных решений считаются вакуумные теплоизоляционные панели (VIP), обладающие коэффициентом теплопроводности, значительно ниже традиционных утеплителей. Их применение позволяет существенно уменьшить толщину теплоизоляционного слоя, что особенно актуально при реконструкции зданий и строительстве объектов с ограниченным внутренним пространством. Однако высокая стоимость и чувствительность к механическим повреждениям пока ограничивают широкое распространение данной технологии [2].

Перспективным направлением также является использование аэрогелей, отличающихся сверхнизкой теплопроводностью, малой плотностью и высокой долговечностью. Благодаря своим свойствам аэрогели находят применение в строительстве объектов с повышенными требованиями к теплоизоляции, хотя их массовое внедрение сдерживается высокой стоимостью производства [3].

Все большее внимание уделяется разработке экологически безопасных теплоизоляционных материалов на основе натурального или переработанного сырья. К ним относятся утеплители из древесного волокна, целлюлозы, льна и других природных компонентов. Использование таких материалов способствует снижению негативного воздействия строительства на окружающую среду и соответствует принципам устойчивого развития [2; 3].

Кроме того, активно развиваются композитные теплоизоляционные материалы, сочетающие преимущества различных видов утеплителей. Их применение позволяет одновременно повысить теплоизоляционные свойства, механическую прочность, влагостойкость и пожарную безопасность конструкций. Развитие технологий производства и совершенствование нормативной базы будут способствовать дальнейшему расширению применения подобных материалов в гражданском строительстве [1].

Таким образом, перспективы развития теплоизоляционных материалов связаны с созданием более эффективных, долговечных и экологичных решений, обеспечивающих повышение энергоэффективности зданий и снижение эксплуатационных затрат. Внедрение инновационных материалов позволит повысить качество строительства и обеспечить выполнение современных требований к устойчивому развитию строительной отрасли [1–3].

Заключение

В результате проведенного исследования установлено, что современные теплоизоляционные материалы играют важную роль в обеспечении энергоэффективности, долговечности и эксплуатационной надежности зданий гражданского назначения. Их применение позволяет существенно снизить теплопотери через ограждающие конструкции, уменьшить расходы на отопление и кондиционирование, а также повысить комфортность эксплуатации объектов [1].

Проведенный сравнительный анализ показал, что каждый из рассмотренных материалов обладает определенными преимуществами и ограничениями. Минеральная вата отличается высокой пожарной безопасностью и паропроницаемостью, пенополистирол обеспечивает оптимальное соотношение стоимости и теплоизоляционных свойств, экструдированный пенополистирол характеризуется высокой прочностью и влагостойкостью, а пенополиуретан демонстрирует наилучшие показатели теплоизоляционной эффективности при минимальной толщине слоя [2–5].

Установлено, что выбор теплоизоляционного материала должен осуществляться с учетом назначения строительной конструкции, условий эксплуатации, требований нормативной документации, а также экономических и экологических факторов. Комплексный подход к оценке характеристик утеплителей позволяет повысить эффективность проектных решений и обеспечить рациональное использование материальных и энергетических ресурсов [1].

Перспективы развития теплоизоляционных материалов связаны с разработкой инновационных решений, обладающих более низкой теплопроводностью, высокой долговечностью и экологической безопасностью. Дальнейшее совершенствование технологий производства и внедрение новых материалов будут способствовать повышению энергоэффективности гражданских зданий и развитию устойчивого строительства [2; 3].

Литература

1. СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий: актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с изм. № 1, 2). – Москва: Минстрой России, 2024. – 100 с.
2. Алоян Р. М., Федосов С. В., Опарина Л. А. Энергоэффективные здания: состояние, проблемы и пути решения. – Иваново : ПресСто, 2016. – 276 с.
3. Минько Н. И., Пучка О. В., Степанова М. Н., Вайсера С. С. Неорганические теплоизоляционные материалы: научные основы и технология : монография. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2016. – 274 с.
4. ГОСТ 16381–77. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Классификация и общие технические требования. – Москва : Стандартинформ, 2020.
5. ГОСТ 15588–2014. Плиты пенополистирольные теплоизоляционные. Технические условия. – Москва : Стандартинформ, 2019.

Comparative analysis of modern thermal insulation materials for civil engineering

Miftakhov I.Il'., Kuchin E.E., Obosyan A.B.
National Research Moscow State University of Civil Engineering

JEL classification: L61, L74, R53

This paper presents a comparative analysis of modern thermal insulation materials used in civil construction. The main types of insulation materials, their classification, technical and operational characteristics, as well as their economic and environmental performance are examined. The advantages and disadvantages of the most widely used materials, including mineral wool, expanded polystyrene (EPS), extruded polystyrene foam (XPS), and polyurethane foam (PUR/PIR), are compared. Based on the analysis, recommendations are proposed for selecting thermal insulation materials according to the type of building structure, and перспективие directions for the development of modern thermal insulation technologies are discussed. The findings can be applied in the design and construction of energy-efficient civil buildings.

Keywords: thermal insulation materials, civil construction, energy efficiency, mineral wool, expanded polystyrene (EPS), extruded polystyrene foam (XPS), polyurethane foam (PUR/PIR), thermal protection of buildings.

References

1. SP 50.13330.2012. Thermal Protection of Buildings. Updated edition of SNiP 23-02-2003 (with Amendments No. 1 and 2). Moscow: Ministry of Construction of the Russian Federation, 2022.
2. Aloyan, R.M., Fedosov, S.V., & Oparina, L.A. Energy-Efficient Buildings: Current State, Problems and Development Prospects. Ivanovo: PresSto Publ., 2016.
3. Minko, N.I., Puchka, O.V., Stepanova, M.N., & Vaisera, S.S. Inorganic Thermal Insulation Materials: Scientific Foundations and Technology. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov Publ., 2016.
4. GOST 16381–77. Thermal Insulation Building Materials and Products. Classification and General Technical Requirements. Moscow: Standartinform Publ., 2020.
5. GOST 15588–2014. Thermal Insulation Polystyrene Foam Boards. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2019.