

Экологически чистые теплоизоляционные материалы как основа энергоэффективности и экономики замкнутого цикла в строительстве

С.А. Генпель, Е.А. Шалай

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы о комплексном подходе в архитектурном проектировании и строительстве по обеспечению энергоэффективности зданий, производству экологичных строительных материалов, учета климата района строительства, а также экономических аспектов. Для комфорта и здоровья людей принципиальное значение имеет экологическая безопасность используемых в проектировании теплоизоляционных материалов. Рассмотрены вопросы выбора экологически чистых теплоизоляционных материалов для реализации «зеленого» строительства и возможности формирования экономики замкнутого цикла. По техническим и экологическим характеристикам проведен анализ теплоизоляционных материалов и перечислены современные экологически чистые материалы, которые возможно применять в проектировании и строительстве зданий и сооружений. Перечислены ключевые факторы, определяющие экономическую эффективность зданий.

Ключевые слова: энергоэффективность, экологически чистые теплоизоляционные материалы, экологическая безопасность, «зеленое» строительство, экономика замкнутого цикла.

Строительство энергоэффективных зданий, производство и использование экологически чистых материалов, экономические аспекты, учет климатических факторов при проектировании, в комплексе, представляют собой сложную задачу, требующую использования знаний из областей архитектуры, инженерии, экономики, экологии. Совокупность этих факторов не только способствует созданию комфортной и безопасной городской среды, позволяет значительно снизить негативное воздействие на окружающую среду, но и дает перспективу для формирования экономики замкнутого цикла. В условиях растущих требований к устойчивости и энергоэффективности зданий данный подход становится неотъемлемой частью современного архитектурного проектирования.

В строительной науке уже более полувека существует концепция энергоэффективного здания и актуальность к ней возрастает. Энергетическая

эффективность здания – это способность объекта и его инженерных систем поддерживать оптимальные условия микроклимата при заданном уровне потребления тепловой энергии. Энергоэффективность включает в себя эффективное использование тепловой и других видов энергии и ресурсов. В России введен Федеральный закон об энергосбережении от 23.11.2009 N 261-ФЗ, который регулярно изменяют и дополняют согласно развитию науки в строительстве, экономике, экологии, программировании. Для сохранения окружающей среды, при проектировании и строительстве зданий различного назначения, нужно использовать экологически чистые материалы. В этой связи, экономика замкнутого цикла необходима для достижения целей устойчивого развития, которое предполагает создание качественной окружающей среды, экономического процветания и социального благополучия для настоящего и будущего поколений [1, 2]. В плане федерального проекта «Экономика замкнутого цикла» к 2030 году необходимо вовлечение в хозяйственный оборот не менее 25% отходов производства и потребления в качестве вторичных ресурсов и сырья.

Экологичное строительство называют «зеленым» строительством, принципы которого лежат в создании нового поколения жилья, сочетающего ориентацию на сохранение окружающей среды и использование инновационных технологий [3]. Ключевые принципы – это ресурсосбережение и бережное производство, а стандарты представляют собой конкретные, измеряемые требования, например, в виде российских законов, проектов, ГОСТов и др. нормативных документов.

В связи с увеличением спроса на комфортные жилые и общественные пространства, законодательство претерпело ряд изменений, что повлекло пересмотр и создание новых подходов в проектировании. Из-за необходимости улучшения стандартов энергетической эффективности зданий, в особенности, снижения потребления энергии, в 2024 году вступила

в силу новая редакция свода правил СП 50.13330.2024, в котором одним из изменений является отмена регионального коэффициента m_p для покрытий и перекрытий в зданиях второй и третьей категорий при расчете нормируемого сопротивления теплопередаче. Это позволит повысить точность расчетов в разных климатических условиях и упростит процесс проектирования.

При проектировании наружных ограждающих конструкций необходимо использовать теплоизоляционные материалы для обеспечения требований по тепловой защите зданий. Для поддержания необходимой температуры в отопительный период в здании, теплотехнические свойства наружных ограждающих конструкций должны быть максимально оптимизированы, так как применение неэффективных материалов может приводить к значительным потерям тепла, что в свою очередь приведет к ухудшению жилищных условий. Поэтому задача проектировщиков проанализировать не только теплопроводность, но и другие физико-механические свойства материалов, влияющие на тепловую защиту объектов.

При выборе утеплителя важно изучить характеристики материалов, такие как состав, плотность, теплопроводность, влагостойкость, паропроницаемость, пожаробезопасность, срок службы, устойчивость к погодным условиям, устойчивость к биологическим видам воздействий, энергоэффективность [4]. Каждый материал имеет свои достоинства и недостатки, и его выбор должен основываться на уникальных требованиях и условиях каждого конкретного проекта, учитывая регион строительства.

Экологическая безопасность теплоизоляционного материала имеет принципиальное значение для комфорта и здоровья людей. Таким образом, правильный выбор утеплителя важен для достижения энергетической и экономической эффективности в строительстве и реставрации зданий, безопасности, экологической устойчивости, долговечности и возможности формирования экономики замкнутого цикла. Самыми опасными веществами

в строительных и теплоизоляционных материалах являются, например, фенол, формальдегид, фосген, асбест, тяжелые металлы и др., которые опасны для здоровья человека и имеют негативную оценку некоторых здравоохранительных организаций [5]. Устаревшими теплоизоляционными материалами считаются: стекловата, которая опасна для здоровья, дает усадку, крошится, является влагоемкой; вспененный полистирол, который быстро окисляется, выделяет вредные вещества; древесноволокнистые плиты (ДВП) – материал, который имеет слабые теплоизоляционные характеристики и является неэкологичным материалом.

Предлагается использовать в качестве утеплителей материалы, которые возможно применять в рамках экономики замкнутого цикла: каменную вату, являющуюся ценным вторичным сырьем, его можно перерабатывать большое количество раз, имеется возможность применения повторно для утепления зданий с вентилируемыми и «мокрыми» фасадами; эковату, сохраняющую теплоизоляционные свойства после высыхания, и при повторном использовании возможен метод влажного напыления или влажно-клеевой способ, материал можно использовать для утепления любых зданий, а также бесшовный способ укладки обеспечивает более качественную звукоизоляцию (55 Дб); пеностекло, материал, отличающийся высокой прочностью и долговечностью, его можно использовать повторно после разрушения здания; экструдированный пенополистирол, являющийся энергоэффективным материалом, устойчивым к механическим нагрузкам и влаге, измельченный и очищенный полистирол может быть переработан в новую продукцию различными способами.

Проводя сравнительный анализ технических характеристик приведенных выше теплоизоляционных материалов можно сделать вывод, что экструдированный пенополистирол обладает самой высокой энергоэффективностью, так как имеет коэффициент теплопроводности ниже

($\lambda = 0,028 - 0,032$ Вт/м·°C), чем у каменной ваты ($\lambda = 0,034 - 0,046$ Вт/м·°C), эковаты ($\lambda = 0,032 - 0,041$ Вт/м·°C) и стекловаты ($\lambda = 0,030 - 0,044$ Вт/м·°C). По паропроницаемости стекловата и каменная вата отводят потоки водяных паров из помещений, так как имеют, более высокие коэффициенты паропроницаемости – $\mu = 0.49 - 0.69$ мг/м·ч·Па и $\mu = 0.30 - 0.38$ мг/м·ч·Па соответственно, затем идет эковата с коэффициентом паропроницаемости равным 0.30 мг/м·ч·Па, а экструдированный пенополистирол имеет практически нулевую паропроницаемость – $\mu = 0,01 - 0,02$ мг/м·ч·Па. Огнестойкость утеплителей сильно различается: негорючим материалом является каменная вата, которая имеет группу горючести – негорючие материалы (НГ); материалы стекловаты бывают негорючие (НГ) и слабогорючие (Г1); материалы эковаты бывают слабогорючие (Г1) и умеренногорючие (Г2); разновидности утеплителей экструдированных пенополистиролов имеют группы горючести – слабогорючие (Г1), умеренногорючие (Г2), нормальногорючие (Г3) или сильногорючие (Г4).

Теплоизоляционные материалы определенных технических характеристик выбираются в зависимости от климатических условий, назначения зданий, типа конструкций, экологических требований, требований по пожарной безопасности и экономической составляющей. При повторном применении утеплителя не рекомендуется сочетать разные типы утеплителей на одной плоскости, так как это может привести к образованию «мостиков холода».

При утеплении наружных ограждающих конструкций, учитывая основные характеристики, также выявлены следующие энергоэффективные материалы: по теплопроводности хорошими материалами являются жидкие теплоизоляторы, полиизоциануратные плиты (ПИР), термоплиты, вакуумная теплоизоляция; по паропроницаемости – жидкие теплоизоляторы, ПИР-

плиты, пенополистирол [6]. В зависимости от условий эксплуатации материалы экотеплин и ПИР-плиты имеют срок службы не менее 60 лет.

Расчет наружных ограждающих конструкций с определением толщины слоя современного теплоизоляционного материала может сильно уменьшить теплотери и расходы на отопление. Учет уровня теплотерь через ограждающие конструкции, выбор технологий утепления и экологически чистых материалов, а также конструктивные особенности самого здания – это ключевые факторы, определяющие экономическую эффективность зданий, развитие «зеленой» экономики для обеспечения сбалансированного и устойчивого роста строительства [7], а также формирование экономического стимула предприятий, обеспечивающих переработку вторичного сырья [8]. В условиях высоких стоимостей энергоносителей рентабельно развитие и использование альтернативных источников энергии, таких, как энергия ветра, солнца и т. п., а также применение комплексных систем изоляции – системы фасадной изоляции теплоизоляционные композиционные (СФТК), системы вентилируемых фасадов (СВФ) и пр. [9,10].

Эффективные теплоизоляционные мероприятия позволяют добиться снижения затрат на жилищно-коммунальные услуги, что активно отражается на экономической ситуации владельцев зданий. С изменениями в законодательной и нормативной базе возникнет возможность внедрения инновационных технологий в энергосбережении, например, производство высокоэффективных теплоизоляционных материалов, разработка и внедрение технологий переработки строительных отходов, включая утеплители, использование вторичного сырья для производства новых материалов, применение систем автоматизации управления климатом и дополнительных источников энергии, таких как солнечные панели и ветрогенераторы, а проектировщики, получая задания, смогут не только

следовать новым нормам, но и расширять горизонты для внедрения передовых решений.

Литература

1. Фаткуллина Г.И. Регулирование в области экономики замкнутого цикла в современной России // Уфимский гуманитарный научный форум. Сборник статей V международного научного форума. Под редакцией А.Н. Дегтярева. Уфа, 2023. С. 386-392.
2. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions // Resources, Conservation & Recycling. 2017. N 127. pp. 221-232.
3. Селезнев А.Б., Трусов К.С. Концептуальные основы и перспективы зеленого строительства в российской федерации на современном этапе // Региональная и отраслевая экономика. 2024. № 3. С. 40-46.
4. Геппель С.А., Лебединская А.Р. Выбор экологически чистых утеплителей при проектировании зданий // Проблемы техносферной и экологической безопасности в промышленности, строительстве и городском хозяйстве: Сборник материалов II международной научной конференции. Макеевка: ГОУ ВПО «ДонНАСА», 2024. с. 341. С. 266-269.
5. Геппель С.А. Комплексные решения для создания экологической городской среды // Безопасность в строительстве: Сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2023. с. 357. С. 252-257.
6. Абрамян С.Г., Михайлова Н.А., Котляревский А.А., Семочкин В.О. Теплоизоляционные материалы, обеспечивающие энергоэффективность фасадных систем // Инженерный вестник Дона, 2018. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5331/.
7. Варавин Е.В., Маковецкий М.Ю., Комарова А.С. Экономика обеспечения перехода к экономике замкнутого цикла // Вестник Московского

университета имени С.Ю. Витте. Серия 1. Экономика и управление. 2022. № 1 (40) DOI: 10.21777/2587-554X-2022-1-42-51.

8. Епишев А.П., Завьялов С.В., Коваленко М.А., Жура С.Е. Экономика замкнутого цикла: проблемы и пути решения на современном этапе / Вестник РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2022. Том 19, №3 (123). DOI: dx.doi.org/10.21686/2413-2829-2022-3-69-75.

9. Каддо М.Б., Ефимов Б.А. Энергетическая эффективность фасадных систем изоляции // Инженерный вестник Дона, 2024. №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2024/9582/.

10. Ayeledeen M., Hara Y., Kitazume M., Negm A. Unconfined compressive strength of compacted disturbed cement-stabilized soft clay // International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering. 2016. V. 2. pp. 1-10. DOI: 10.1007/s40891-016-0064-4.

References

1. Fatkullina G.I. V sbornike: Ufimskiy gumanitarnyj nauchnyj forum. Sbornik statey V mezhdunarodnogo nauchnogo foruma. Pod redaktsiyey A.N. Degtyareva: trudy [Proc. In the collection: Ufa Humanitarian Scientific Forum. Collection of articles from the V International Scientific Forum. Edited by A.N. Degtyarev]. Ufa, 2023. pp. 386-392.

2. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation & Recycling. 2017. N 127. pp. 221-232.

3. Seleznev A.B., Trusov K.S. Regional'naja i otraslevaja jekonomika: trudy. 2024. № 3. pp. 40-46.

4. Geppel' S.A., Lebedinskaja A.R. Problemy tehnosfernoj i jekologicheskoy bezopasnosti v promyshlennosti, stroitel'stve i gorodskom hozjajstve: Sbornik materialov II mezhdunarodnoj nauchnoj konferenci: trudy. Makeyevka: DonNASA, 2024. p. 34. pp. 266-269.



5. Geppel' S.A. Bezopasnost' v stroitel'stve: Sbornik statej VI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem: trudy. Sankt-Peterburg: SPbGASU, 2022. p. 357. pp. 252-257.
6. Abramjan S.G., Mihajlova N.A., Kotljarevskij A.A., Semochkin V.O. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5331/.
7. Varavin E.V., Makovetskiy M.YU., Komarova A.S. Vestnik Moskovskogo universiteta imeni S. YU. Vitte. Seriya 1. Ekonomika i upravleniye. 2022. № 1 (40) DOI: 10.21777/2587-554X-2022-1-42-51.
8. Yepishev A.P., Zav'yalov S.V., Kovalenko M.A., Zhura S.E. Vestnik REU im. G.V. Plekhanova, 2022. Tom 19, №3 (123) DOI: dx.doi.org/10.21686/2413-2829-2022-3-69-75.
9. Kaddo M.B., Efimov B.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2024/9582/.
10. Ayeledeen M., Hara Y., Kitazume M., Negm A. Unconfined compressive strength of compacted disturbed cement-stabilized soft clay. International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering. 2016. V. 2. pp. 1-10. DOI: 10.1007/s40891-016-0064-4.

Авторы согласны на обработку и хранение персональных данных.

Дата поступления: 8.10.2025

Дата публикации: 15.11.2025