

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ В ГОРОДЕ МАНЬЧЖУРИЯ

Аннотация. В статье с позиций ограждающих конструкций, материалов, экономики и политики анализируется влияние тепловой изоляции на энергоэффективность зданий в районе Маньчжурии и оценивается эффект от реконструкции. Работа может служить ориентиром для энергосбережения в суровых холодных регионах.

Ключевые слова: Город Маньчжурия, энергоэффективность зданий, тепловая изоляция, суровый холодный регион.

1 Введение

Город Маньчжурия расположен на северо-восточной границе Китая и относится к типичной зоне сурового холодного климата. Среднегодовая температура здесь ниже 0 °С, отопительный период длится до полугода, а экстремальные минимальные температуры могут опускаться ниже -40 °С. Столь суровые природные условия обуславливают чрезвычайно высокую долю энергопотребления на отопление зданий в структуре регионального энергодобаванса. Согласно исследованиям, в суровых холодных регионах на здания приходится свыше 40 % суммарного энергопотребления территории, причём отопление составляет 60-70 % общего энергопотребления зданий. В теплотерях зданий доминируют потери через ограждающие конструкции: через окна может теряться 30-50 % всей тепловой энергии, расходуемой на отопление [1, 11].

По мере урбанизации объём существующего жилого фонда города Маньчжурия постоянно увеличивается. Значительная часть этих зданий построена до введения государственных стандартов энергосбережения, поэтому теплотехнические характеристики их ограждающих конструкций, как правило, низкие: стены лишены эффективного утепления, а окна в основном представляют собой одинарное остекление в стальных или алюминиевых переплётах. Это ведёт к массовым потерям тепла внутри помещений в зимний период, высокому расходу энергии на отопление и неудовлетворительному тепловому комфорту жильцов. В последние годы, в рамках стратегии «двойного углерода», энергосбережение и сокращение выбросов в строительной сфере стали важной составляющей государственной энергетической политики. В опубликованном в 2026 году «Предложении» Канцелярии ЦК КПК и Канцелярии Госсовета КНР о более качественном и высокоуровневом выполнении работы по энергосбережению и сокращению выбросов прямо указывается на необходимость ужесточения управления энергоэффективностью новых зданий, активного продвижения энергосберегающей и низкоуглеродной реконструкции существующего фонда и усиления управления энергосбережением на стадии эксплуатации зданий [14].

В этом контексте системное исследование влияния теплоизоляции на энергоэффективность зданий в городе Маньчжурия обладает не только важной теоретической ценностью, но и неотложной практической значимостью. Цель настоящей работы состоит в том, чтобы на основе обзора литературы и анализа данных комплексно оценить механизмы воздействия технологий тепловой изоляции на энергопотребление зданий в районе Маньчжурии, их практическую эффективность и пути оптимизации.



2 Современное состояние энергопотребления и теплозащиты зданий в городе Маньчжурия

2.1 Географо-климатические особенности и структура энергопотребления зданий

Город Маньчжурия находится на широте около 49° с. ш., в переходной зоне от умеренного муссонного континентального климата к холодно-умеренному. Зимой территория находится под влиянием Сибирского антициклона, погода холодная, сухая и продолжительная. Согласно строительно-климатическому районированию Китая, район отнесён к суровой холодной зоне С, имеет чрезвычайно высокое значение градусо-суток отопительного периода (HDD18), и здания должны удовлетворять строгим теплоизоляционным требованиям.

Отопительный период длится более 180 суток, поэтому основная доля эксплуатационного энергопотребления приходится на зимнее отопление. Исследования типичных городов сурового холодного региона, таких как Урумчи, показывают, что в отопительный сезон на здания может приходиться около трети суммарного энергопотребления города [11]. При этом теплопотери через ограждающие конструкции являются одним из главных источников расхода энергии. Коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций существующих неэнергоэффективных жилых зданий значительно превосходят ограничения современных норм, вследствие чего огромное количество тепла рассеивается в окружающую среду через наружные стены, крыши, окна и полы.

2.2 Современные теплотехнические характеристики ограждающих конструкций существующего фонда

Значительная часть жилого фонда Маньчжурии построена в 1980-1990-х годах, когда общегосударственные системные нормы по энергосбережению зданий ещё не действовали. Первый официальный стандарт проектирования энергоэффективных зданий (JGJ 26-86) был выпущен в 1986 году, однако распространялся лишь на новые объекты в отдельных северных регионах и имел ограниченное внедрение. В результате ограждающие конструкции таких зданий, как правило, лишены эффективного теплоизоляционного слоя и обладают неудовлетворительными теплотехническими характеристиками.

В качестве примера можно привести типичный кирпичный жилой дом в Харбине. Специалисты Харбинского политехнического университета провели натурные измерения в ходе проекта реновации микрорайона Хэбай и установили, что коэффициент теплопередачи наружной стены кирпичного здания без утеплителя достигает $0,81 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, что на 62 % превышает нормативное ограничение для сурового холодного района – $0,50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [2]. В Маньчжурии, где климат ещё суровее, этот показатель может быть ещё выше. Недостаточная теплозащита ограждающих конструкций ведёт к росту отопительной нагрузки, вызывает огромный перерасход энергии, а также не позволяет обеспечить удовлетворительный тепловой комфорт зимой: температура в помещениях сильно колеблется, широко распространено явление холодной радиации.

2.3 Действующая система стандартов энергосбережения зданий

Для продвижения энергосберегающих мероприятий в Китае создана достаточно полная система стандартов проектирования для сурового холодного региона. Современный государственный стандарт «Нормы проектирования энергоэффективных жилых зданий в суровых холодных и холодных регионах» содержит чёткие ограничения коэффициентов теплопередачи для отдельных элементов ограждающих конструкций. По уровню энергосбережения новые жилые здания сурового холодного региона уже достигли цели в 65 % (относительно базового здания 1980-х гг.), а показатели домов со сверхнизким энергопотреблением ещё выше. Исследования показывают, что такие здания при интеграции капиллярной радиационной системы отопления/охлаждения, геотермального теплового



насоса, приточной вентиляции с полной рекуперацией тепла и солнечной термальной системы могут демонстрировать даже более высокую эффективность, чем диктует стандарт 65 % [8]. Это задаёт чёткие технологические ориентиры и направления развития для энергосбережения в Маньчжурии.

3 Анализ влияния тепловой изоляции на энергоэффективность зданий

3.1 Механизм теплопередачи через ограждающие конструкции и принцип энергосбережения

Ограждающие конструкции зданий – стены, крыши, окна и полы – являются основными поверхностями теплообмена между внутренней и внешней средой. В суровом холодном регионе разность температур внутри и снаружи зимой может достигать 30-50 °С, и трансмиссионные теплопотери через ограждающие конструкции составляют главную часть отопительной нагрузки здания.

Базовый принцип наружной теплоизоляции стен заключается в размещении с наружной или внутренней стороны стены дополнительного слоя материала с низким коэффициентом теплопроводности. Это увеличивает общее сопротивление теплопередаче конструкции, снижает коэффициент теплопередачи (K-значение) и уменьшает удельные потери тепла. Исследования показывают, что при коэффициенте теплопроводности изоляционного материала $\leq 0,040$ Вт/(м·К) его снижение на каждые 0,001 Вт/(м·К) способно дать среднегодовой экономический эффект 1,2-1,8 юаней/м² [13]. Следовательно, даже малая разница в теплофизических свойствах утеплителя на длительном горизонте эксплуатации превращается в ощутимую экономию энергии.

Что касается утепления кровли, то исследования сельских жилых домов сурового холодного региона показывают: применение в кровельном пироге 100 мм экструзионного пенополистирола (XPS) в сочетании с двухкамерными стеклопакетами с низкоэмиссионным покрытием (Low-e) в пластиковых переплётах позволяет достичь значительного уровня энергосбережения. При этом именно модернизация окон даёт наиболее выраженный эффект – показатель энергосбережения достигает 43,13 % [3]. Эти данные имеют прямое отношение к реновации зданий Маньчжурии, поскольку окна, занимая лишь часть общей площади оболочек, ответственны за непропорционально большую долю теплопотерь.

3.2 Сравнение характеристик теплоизоляционных материалов и их применимость

В настоящее время для наружной теплоизоляции стен в суровом холодном регионе основными являются вспененный пенополистирол (EPS), экструзионный пенополистирол (XPS), минераловатные плиты, вакуумные теплоизоляционные панели (VIP) и новые аэрогелевые композиты. Они различаются по теплоизоляционным свойствам, пожарной безопасности, долговечности и экономичности.

По теплоизоляционным характеристикам лидирует VIP с теплопроводностью ниже 0,008 Вт/(м·К). Результаты испытаний показывают, что при фиксированной толщине утеплителя наилучшие показатели у системы с VIP, наихудшие – у минераловатной системы [13]. Однако в реальных условиях монтажа свойства VIP могут ухудшаться более чем на 20 % от теоретических значений из-за влияния строительной площадки, а высокая стоимость ограничивает их массовое применение в рядовых жилых проектах. Материал XPS демонстрирует лучшие комплексные характеристики. Согласно исследованию жилых зданий в холодном регионе северо-запада Китая, XPS обладает оптимальным теплотехнико-экономическим балансом: слой XPS толщиной 50 мм снижает годовое энергопотребление примерно на 23-24 % по сравнению с неутеплённым вариантом [5].

В отношении пожарной безопасности неоспоримое преимущество в высотных зданиях и объектах с высокими требованиями к огнестойкости имеют минераловатные плиты, относящиеся к классу негорючих материалов (группа горючести НГ). Однако их сравнительно



высокая теплопроводность, большая плотность и повышенное влагопоглощение требуют внимания при оценке долговременной надёжности во влажной среде сурового холодного региона. В последние годы в северных холодных регионах постепенно внедряется комбинированная схема «минеральная вата + XPS», призванная найти баланс между пожарной безопасностью и эффективностью теплозащиты.

Для Маньчжурии с учётом экстремально низких температур, условий строительства и экономических факторов наиболее зрелым и оптимальным по соотношению «цена–качество» остаётся тонкослойный штукатурный фасад с системой наружной теплоизоляции на основе EPS или XPS. В высотных и общественных зданиях целесообразно применение минераловатных или комбинированных решений для выполнения повышенных противопожарных требований.

3.3 Оптимизация толщины наружной теплоизоляции стен

Определение толщины утеплителя – это не только теплотехническая, но и экономическая оптимизационная задача. С ростом толщины коэффициент теплопередачи снижается, отопительная нагрузка падает, однако стоимость материалов и работ увеличивается. Поэтому для отыскания экономически оптимальной толщины необходим анализ «затраты–выгода» на всём жизненном цикле.

Исследования демонстрируют нелинейное снижение расхода энергии на отопление с увеличением толщины изоляции: после ≈ 50 мм предельная выгода резко убывает [5]. Это означает, что бездумное наращивание толщины не даёт пропорциональной экономии энергии, а ведёт к перерасходу материалов и удорожанию. В исследовании для холодного региона Сианя слой XPS толщиной 50 мм обеспечивал минимум затрат жизненного цикла при годовом сокращении энергопотребления на 23-24 % [5]. Аналогичные имитационные работы для Харбина также показывают, что теплозащита стен сильно влияет на расход тепла зданием, но оптимизация толщины должна выполняться комплексно, с учётом местных климатических условий, цен на энергоносители и стоимости материалов [10].

Для Маньчжурии, где градусо-сутки отопительного периода значительно выше, чем в том же Сиане, экономически оптимальная толщина утеплителя, вероятно, будет больше. Для энергосберегающей реновации существующих зданий рекомендовано приоритетное использование XPS толщиной 60-80 мм или EPS толщиной 80-100 мм, а в конкретных проектах – детальное проектирование с применением энергетического моделирования и расчёта затрат полного жизненного цикла.

3.4 Влияние теплозащитных характеристик наружных окон

Наружные окна – наиболее уязвимый в теплотехническом отношении элемент ограждающих конструкций. Как отмечалось, через них может теряться от 30 до 50 % всей тепловой энергии на отопление. Повсеместно встречающиеся в существующих зданиях Маньчжурии одинарные или обычные двойные стёкла имеют коэффициент теплопередачи 3,0-5,0 Вт/(м²·К), что намного выше современных нормативных требований ($K \leq 1,5-2,0$ Вт/(м²·К)).

Замена окон является одной из самых результативных мер в энергосберегающей реновации. В исследовании жилого дома в Чанчуне показано, что использование двухкамерных стеклопакетов с Low-e покрытием в пластиковых переплётах может дать до 43,13 % экономии энергии [3]. Работы по промышленным зданиям на северо-востоке Китая также показали, что снижение излучательной способности стекла с 0,92 до 0,05 эквивалентно примерно 20 мм дополнительной физической теплоизоляции, а комбинация низкоэмиссионного покрытия с EPS/XPS имеет срок окупаемости всего 0,6-3,2 года, что чрезвычайно экономически эффективно [6].



Кроме того, способ установки окна также влияет на фактический теплозащитный эффект. Конфигурация с наружным монтажом и воздушной прослойкой 20 мм может дать дополнительную экономию энергии в 1,5-2,0 % по сравнению с монтажом изнутри [6]. На подобные детали также стоит обратить внимание при термореновации зданий в Маньчжурии.

4 Комплексное обсуждение: многомерные выгоды и вызовы термореновации

4.1 Экономический анализ

Энергосберегающая модернизация ограждающих конструкций существующего жилого фонда требует существенных начальных капиталовложений (материалы, работа, проектирование), однако долгосрочная экономия энергии, как правило, способна покрыть инвестиции и обеспечить положительный экономический эффект. Общепринятым международным методом оценки служит анализ затрат полного жизненного цикла (LCCA). Исследования, выполненные для северо-западного холодного региона, показали, что здания с оптимизированной изоляцией окупаются в разумные сроки, а выгода от энергосбережения продолжает поступать в течение последующих десятилетий эксплуатации [5]. Практика реновации одного из микрорайонов в Урумчи также продемонстрировала, что после комплексной термомодернизации коэффициенты теплопередачи оболочки значительно снизились, внутренний тепловой комфорт заметно улучшился, эффект энергосбережения достиг запланированных целей, а сам опыт имеет хорошие перспективы для тиражирования [9].

4.2 Экологические выгоды и сокращение углеродных выбросов

Энергосбережение и декарбонизация в строительной отрасли – важная опора для достижения государственной цели «двойного углерода». На стадии строительства и эксплуатации зданий в Китае образуется около 38 % общих выбросов углерода в стране. В суровых холодных регионах сокращение расхода энергии на отопление служит магистральным путём снижения углеродного следа зданий. Согласно расчётам, энергосберегающая реновация существующих жилых зданий в суровых холодных регионах способна дать значительный эффект сокращения выбросов загрязняющих веществ [7]. Повышение теплозащитных свойств ограждающих конструкций напрямую уменьшает потребление ископаемого топлива и, как следствие, снижает эмиссию CO₂, SO₂, сажи и других поллютантов, обеспечивая тем самым существенный положительный экологический внешний эффект.

5 Заключение

Город Маньчжурия находится на северном форпосте суровой холодной климатической зоны Китая, и высокие затраты энергии на отопление, обусловленные недостаточной теплозащитой ограждающих конструкций, являются здесь острой многолетней проблемой. Системный анализ литературных источников и практических данных позволил сделать следующие основные выводы.

Во-первых, тепловая изоляция является ключевым средством повышения энергоэффективности зданий в Маньчжурии. Дополнительное утепление наружных стен и замена окон на стеклопакеты с низкоэмиссионным покрытием позволяют кардинально снизить коэффициенты теплопередачи оболочки и ощутимо сократить расход энергии на отопление. Показано, что оптимально подобранная изоляция может снизить годовое энергопотребление здания более чем на 20 % по сравнению с неутеплённым базовым вариантом [5].

Во-вторых, выбор теплоизоляционного материала должен вестись с комплексным учётом теплопроводности, пожарной безопасности, долговечности и стоимости. Тонкослойная штукатурная система с EPS или XPS остаётся наиболее экономически эффективным массовым решением; минеральная вата незаменима в условиях высоких



требований к огнестойкости; вакуумные панели и новые аэрогелевые материалы демонстрируют хорошие перспективы в высокоэффективных зданиях.

В-третьих, в условиях глобального изменения климата и роста потребности в летнем охлаждении стратегия теплозащиты зданий должна смещаться от приоритета «только зима» к «круглогодичному балансу»: одновременно с усилением утепления необходимо проектировать солнцезащитные и вентиляционные мероприятия, чтобы отвечать более сложным будущим требованиям энергоэффективности [4, 12].

В-четвёртых, энергосберегающая модернизация существующего фонда обладает хорошей экономической жизнеспособностью и значительным экологическим эффектом, способна обеспечить положительную отдачу в разумные сроки окупаемости и одновременно внести реальный вклад в достижение национальной стратегической цели «двойного углерода». Городу Маньчжурия следует в полной мере использовать политические стимулы и научно обоснованно продвигать термореновацию зданий, создавая образец зелёного низкоуглеродного развития для городов сурового холодного региона, который может служить «северным форпостом» передового опыта.

Список литературы:

1. Чжао Ваньли, Ян Вэйцзюй, Чэнь Цзя-нуй. Некоторые соображения по энергосберегающей реконструкции существующих жилых зданий в суровом холодном регионе [Текст] // Строительная энергоэффективность. – 2010. – № 4.
2. Чжан Чжэ, Тан Ху, Сунь Хунлэй и др. Натурные измерения энергосберегающего эффекта зелёной реконструкции существующих жилых зданий в микрорайоне Хэбай г. Харбин [Текст] // Инновации в стеновых материалах и строительное энергосбережение. – 2018. – № 8. – С. 45–48.
3. Цинь Ли, Чжоу Мо, Ши Вэй и др. Комплексное исследование энергосбережения сельских жилых домов в суровом холодном регионе – на примере жилого дома в г. Чанчунь [Текст] // Журнал прикладных фундаментальных и инженерных наук. – 2020. – № 1. – С. 67–80.
4. Wang D., Dong Q., Sun C. Evaluating the adaptation potential and retrofitting effectiveness of existing residential buildings in severe cold regions of China under climate change [Text] // Building and Environment. – 2025.
5. Bai X., Yang D., Zhang G. Experimentally Calibrated Thermal and Economic Optimization of Wall Insulation Systems for Residential Buildings in Cold Regions of Northwest China [Text] // Buildings. – 2026. – Vol. 16, № 3. – P. 470.
6. Energy Performance and Optimization of Window Insulation System for Single-Story Heated Industrial Building Retrofits in the Severe Cold Regions of Northeast China [Text] // Buildings. – 2025. – Vol. 15, № 24. – P. 4572.
7. Prioritizing Energy-Efficient Envelope Retrofit Strategies for Existing Residential Buildings in Severe Cold Regions Through Multi-Dimensional Benefit Evaluation [Text] // Buildings. – 2026. – Vol. 16, № 7. – P. 1451.
8. Исследование стратегий энергосберегающей реконструкции существующих жилых зданий в суровом холодном регионе [Текст] // Прикладные науки и технологии. – 2017. – № 4.
9. Сравнительный анализ эффектов до и после комплексной энергосберегающей реконструкции зданий – на примере одного микрорайона г. Урумчи [Текст] // Научная общественность Китая. – 2017. – № 12.
10. Сравнительный анализ вариантов энергосберегающей реконструкции существующих жилых зданий в суровом холодном регионе [Текст] // Управление городским дизайном и эксплуатацией будущего. – 2022. – № 4.



11. Исследование энергопотребления на отопление и потенциала энергосбережения типичных существующих неэнергоэффективных жилых зданий в городах сурового холодного региона [Текст] // Журнал Шэньянского архитектурно-строительного университета (серия естественных наук). – 2017. – № 6.

12. Climate-Responsive Envelope Retrofit Strategies for Aged Residential Buildings in China Across Five Climate Zones [Text] // Buildings. – 2025. – Vol. 15, № 16. – P. 2842.

13. Комплексное исследование систем наружной теплоизоляции зданий [Электронный ресурс] // Чжу Лоу Жэнь. – 2026.

14. Канцелярия ЦК КПК, Канцелярия Госсовета КНР. Предложение о более качественном и высокоуровневом выполнении работы по энергосбережению и сокращению выбросов [Электронный ресурс]. – 2026-04-11.

