

УЛУЧШЕННЫЕ ИЗОЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ФАСАДА: СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ФАСАДНОЙ СИСТЕМЫ

С.А. Паплаускас, магистрант

К.С. Артюшенко, магистрант

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы
(Россия, г. Москва)

DOI:10.24412/2500-1000-2026-2-1-248-253

Аннотация. В условиях растущих требований к энергоэффективности зданий фасадная система приобретает ключевое значение как элемент тепловой защиты. Статья рассматривает принципы рационального выбора фасадных решений, обеспечивающих оптимальные изоляционные характеристики при сохранении долговечности и архитектурной выразительности здания. Особое внимание уделяется взаимосвязи теплофизических и влажностных процессов в многослойных конструкциях, определяющих реальную эффективность фасада в течение всего срока эксплуатации. Анализ современных решений демонстрирует переход от пассивной теплозащиты к активным и адаптивным системам, интегрирующим функции энергосбережения, климатического контроля и генерации возобновляемой энергии.

Ключевые слова: фасадная система; теплозащита зданий; энергоэффективность; вентилируемый фасад; ресурсосберегающие технологии; паропроницаемость; жизненный цикл здания.

Современное строительство всё больше ориентируется на снижение энергетических затрат и минимизацию воздействия на окружающую среду. Этот тренд обусловлен как ужесточением требований к теплозащите зданий, так и ростом стоимости энергоносителей, а также глобальными климатическими вызовами. Фасад здания, являясь границей между внутренней и внешней средой, играет определяющую роль в формировании микроклимата помещений и обеспечении комфорта проживания или работы людей. Через наружные ограждения происходит основная часть теплопотерь, поэтому их совершенствованию уделяется первостепенное внимание. Как отмечают исследователи, проблема энергоэффективности зданий остается одной из наиболее острых экономических и экологических проблем, требующая комплексного подхода [6]. Непродуманный выбор фасадной системы может привести не только к избыточным теплопотерям, ведущим к перерасходу топлива на отопление, но и к преждевременному разрушению конструкции вследствие накопления влаги, образования конденсата и развития биоповреждений, таких как плесень и грибок. Это, в свою очередь, ухудшает качество внутренней среды и требует дорогостоящих ремонтов. В связи с этим актуальным становится системный подход к проекти-

рованию фасадов, учитывающий взаимосвязь теплофизических, влажностных и аэродинамических процессов в ограждающей конструкции как единой динамической системе. Такой подход подразумевает не просто подбор материалов с низкой теплопроводностью, а их совместную работу, обеспечивающую удаление влаги, компенсацию температурных деформаций и долговечность. Использование современных методов оптимизационного моделирования позволяет на этапе проектирования обосновывать характеристики энергоэффективных конструктивных решений, прогнозировать поведение фасада в различных климатических условиях и избегать скрытых дефектов, проявляющихся в процессе эксплуатации [4].

Теплофизические основы фасадных систем

Эффективность тепловой защиты фасада определяется комплексом факторов, среди которых центральное место занимает сопротивление теплопередаче. Данная характеристика зависит от толщины слоёв конструкции, их последовательности и теплопроводности применяемых материалов. Однако простое увеличение толщины утеплителя не всегда является оптимальным решением, так как вступают в силу ограничения по стоимости, площади помещений и конструктивной целе-

сообразности. Поэтому важно стремиться к максимальному использованию теплоизоляционных свойств каждого слоя при минимальной толщине. Особое внимание следует уделять совместимости материалов по паропроницаемости: нарушение принципа возрастания паропроницаемости от внутренней стороны к наружной создаёт условия для конденсации водяных паров внутри конструкции. Каждый последующий слой (по направлению движения пара из тёплого помещения наружу) должен обладать большей паропроницаемостью, чем предыдущий, чтобы водяной пар не встречал на своём пути препятствий и беспрепятственно выходил в атмосферу. В противном случае пар задерживается в толще утеплителя или на границе слоёв, и при понижении температуры происходит его конденсация. Это приводит к увлажнению теплоизоляционного слоя, резкому снижению его изоляционных свойств (вода имеет высокую теплопроводность), ускоренной деградации материалов и развитию коррозии металлических элементов крепления. Современные исследования с применением имитационного моделирования в программных комплексах позволяют учитывать совместное влияние тепла и влаги на ограждающую конструкцию в различных климатических условиях [3]. Эти программы дают возможность моделировать нестационарные процессы теплопереноса, прогнозировать изменение влажности материалов во времени и выявлять риски образования конденсата при реальных климатических циклах, что значительно повышает надёжность проектных решений.

Подчёркивается необходимость обеспечения воздухопроницаемости стен в пределах, исключающих сквозняки при сохранении естественного воздухообмена, а также поддержания комфортной температуры внутренней поверхности фасада для предотвращения образования конденсата и плесени. Теплоустойчивость наружных ограждений напрямую влияет на тепловой режим помещений, что особенно важно при суточных колебаниях наружной температуры [5]. Высокая теплоустойчивость означает, что внутренняя поверхность стены медленно реагирует на изменения наружной температуры, сглаживая пики холода или жары и поддерживая стабильный микроклимат в помещении. Это достига-

ется применением материалов с соответствующей теплоёмкостью и правильным расположением слоёв.

Классификация и сравнительный анализ фасадных систем

Фасадные системы условно разделяются на три категории: традиционные, современные и инновационные решения. Каждая из этих категорий имеет свою область применения, достоинства и недостатки, которые необходимо учитывать при проектировании.

Традиционные штукатурные системы (или системы наружного утепления «мокрого» типа) остаются распространёнными благодаря технологичности и относительно невысокой стоимости. Они представляют собой многослойную конструкцию, включающую клеевой слой, теплоизоляционные плиты (обычно минераловатные или пенополистирольные), армирующий слой со стеклосеткой и декоративно-защитную штукатурку. Однако их применение требует строгого соблюдения технологических требований, особенно в части защиты утеплителя от атмосферной влаги на этапе монтажа. Дождь или снег, попавшие на незащищённый утеплитель, могут привести к его переувлажнению и потере свойств. Чувствительность к климатическим условиям при производстве работ (температура, влажность, ветер) ограничивает продолжительность строительного сезона, а риск образования трещин в штукатурном слое из-за температурных деформаций и усадки ограничивает их применение в регионах с резкими температурными колебаниями и высокой влажностью. Кроме того, такие системы требуют тщательной подготовки основания и использования качественных материалов для обеспечения долговечности.

Колодцевая кладка (многослойные стены с утеплителем внутри), несмотря на историческую популярность, демонстрирует существенные недостатки. Наличие теплопроводных включений в виде кладочных растворов, гибких связей (арматуры) и анкеров создаёт так называемые «мостики холода», по которым тепло беспрепятственно уходит наружу. Эффективность утеплителя в такой системе снижается из-за этих включений, а также из-за возможных пустот и неплотностей. Более того, невозможность замены утеплителя без демонтажа наружного слоя кладки делает

конструкцию неремонтопригодной. Вследствие этого данный тип фасада постепенно уходит из практики современного строительства, уступая место более технологичным и эффективным системам, хотя в некоторых случаях применяется в малоэтажном строительстве.

Вентилируемые фасадные системы представляют собой конструктивно обоснованное решение, основанное на принципе свободной циркуляции воздуха в зазоре между утеплителем и наружной облицовкой. Эта система включает несущий каркас (подсистему), закреплённый к стене, слой утеплителя, ветро-гидрозащитную мембрану и облицовочные панели (керамические, фиброцементные, металлические, каменные и др.), устанавливаемые с зазором. Движение воздуха в вентилируемом зазоре способствует выветриванию избыточной влаги из теплоизоляционного слоя, предотвращая её накопление и сохраняя стабильные изоляционные свойства на протяжении всего срока службы. Кроме того, этот зазор играет роль буфера, снижая теплотери за счёт создания воздушной прослойки с пониженной теплопроводностью. Как показывают исследования, вентилируемые фасады, несмотря на широкое распространение, могут иметь ряд недостатков, включая образование мостиков холода в местах крепления кронштейнов подсистемы и потенциальные проблемы при эксплуатации, такие как нарушение замкнутости воздушной прослойки при отказе облицовочных панелей или их смещении, что требует тщательного расчёта и проектирования узлов крепления и выбора материалов [1; 7]. Это подчёркивает важность качества монтажа и контроля за соблюдением технологии. Наружный экран защищает утеплитель от прямого воздействия атмосферных осадков, ультрафиолетового излучения и механических повреждений. Благодаря многослойной структуре и отсутствию жёсткой связи между слоями (кроме точек крепления) такие системы обладают повышенной долговечностью и ремонтопригодностью: возможна замена отдельных элементов облицовки или утеплителя без разрушения всей конструкции.

Светопрозрачные фасадные системы (структурное и полуструктурное остекление) занимают особое место. Они обеспечивают

высокую инсоляцию и архитектурную выразительность, но предъявляют повышенные требования к теплозащите, так как стекло имеет более высокую теплопроводность, чем непрозрачные материалы. Современные технологии (использование низкоэмиссионных стёкол, заполнение инертными газами, терморазрывы в алюминиевых профилях) позволяют существенно повысить их сопротивление теплопередаче, приближая к показателям глухих стен.

Среди инновационных решений выделяются вакуумные изоляционные панели и аэрогелевые материалы, обеспечивающие выдающиеся теплоизоляционные характеристики при минимальной толщине. Вакуумные изоляционные панели состоят из микропористого наполнителя, заключённого в газонепроницаемую оболочку с откачанным воздухом, что позволяет достичь коэффициента теплопроводности в 5-10 раз ниже, чем у традиционных утеплителей. Однако они дороги и чувствительны к повреждениям оболочки. Аэрогели, получаемые из гелей с удалённой жидкой фазой, также обладают рекордно низкой теплопроводностью и могут использоваться в виде матов или прозрачных вставок. Гибридные фасады с интеграцией солнечных элементов и адаптивных систем регулирования солнечного притока (электрохромные стёкла, жалюзи с автоматическим управлением) открывают перспективы для создания энергонеитральных зданий, способных не только минимизировать потребление энергии, но и генерировать её из возобновляемых источников. Развитие инженерных систем с использованием возобновляемых источников энергии и их интеграция в фасады, в том числе при сохранении исторического облика зданий, является важным направлением современных исследований [2]. Такие решения позволяют превратить фасад из пассивного элемента в активный компонент энергосистемы здания.

Критерии выбора оптимальной системы

Выбор фасадной системы должен основываться на комплексном анализе множества факторов, которые можно разделить на несколько групп. Климатические особенности региона определяют требования к паропроницаемости, влагостойкости, морозостойкости и теплоустойчивости конструкции. Например, в регионах с холодной зимой и высокой влаж-

ностью приоритет отдаётся системам с эффективным удалением пара и предотвращением конденсата, таким как вентилируемые фасады. В жарком климате важна защита от перегрева и солнцезащита. Тип основной стены (бетон, кирпич, газобетон, дерево) и её физико-механические характеристики (несущая способность, ровность) влияют на выбор крепёжных элементов и допустимую нагрузку на конструкцию. Для лёгких оснований требуются облегчённые системы с меньшим весом облицовки. Требования пожарной безопасности диктуют ограничения по применению горючих материалов, особенно в многоэтажном строительстве. Здесь часто отдают предпочтение негорючим минераловатным утеплителям и облицовкам из керамики, металла или фиброцемента.

Не менее важными являются экономические аспекты. Здесь необходим анализ полной стоимости жизненного цикла, который включает не только первоначальные инвестиции в материалы и монтаж, но и затраты на эксплуатацию, текущий и капитальный ремонт, а также на отопление и кондиционирование за весь срок службы здания. Хотя первоначальные затраты на современные системы (например, вентилируемые фасады с высококачественными материалами или фасады с интегрированными солнечными элементами) могут превышать стоимость традиционных решений, их применение часто оправдано за счёт снижения эксплуатационных расходов (экономия энергии) и увеличения срока службы (до 50 лет и более). Архитектурные задачи проекта также играют существенную роль: разнообразие облицовочных материалов для вентилируемых фасадов (керамогранит, натуральный камень, композитные панели, дерево) позволяет реализовывать сложные дизайнерские концепции без ущерба для теплозащитных характеристик. Возможность создания вентилируемых фасадов криволинейной формы или с различной фактурой расширяет архитектурные возможности. Исследования показывают, что современные решения наружных ограждающих конструкций должны разрабатываться с учётом климатических условий и особенностей расчёта теплофизических свойств [2]. Для многоэтажных жилых зданий выбор материала подсистемы (сталь, алюминий) и облицовки может влиять на

приведённое сопротивление теплопередаче за счёт мостиков холода в кронштейнах, при этом существуют оптимальные комбинации для различных типов основания, позволяющие минимизировать эти потери [6]. Важно также учитывать экологические аспекты: применяемые материалы должны быть безопасны для человека и окружающей среды, иметь низкий углеродный след и быть пригодны для вторичной переработки по окончании срока службы.

Заключение

Оптимизация изоляционных свойств фасада невозможна без системного подхода, учитывающего взаимосвязь теплотехнических, влажностных и конструктивных параметров. Простое увеличение толщины утеплителя без анализа влажностного режима, мостиков холода и долговечности материалов может привести к неожиданным негативным последствиям, включая накопление влаги, снижение срока службы конструкции и ухудшение микроклимата помещений. Именно поэтому системный подход предполагает рассмотрение фасада не как набора отдельных слоёв, а как единого комплекса, где каждый элемент влияет на работу других. Такой подход включает в себя учёт климатических условий места строительства, анализ точки росы, расчёт паропроницаемости, а также оценку влияния крепёжных элементов на общее сопротивление теплопередаче. Отсутствие универсального решения подчёркивает необходимость индивидуального проектирования фасадной системы для каждого объекта с учётом конкретных климатических, эксплуатационных и архитектурных условий. Только такой подход позволяет достичь баланса между энергоэффективностью, долговечностью и эстетикой. Современные методы математического моделирования, включая нелинейные модели распределения температур в узлах крепления и моделирование конвективных потоков в воздушных прослойках, позволяют с высокой точностью прогнозировать тепловые процессы в вентилируемых фасадах и повышать эффективность проектных решений [4; 8]. Эти инструменты дают возможность виртуально тестировать различные конфигурации системы, оценивать риски образования конденсата при различных сценариях эксплуатации и выбирать оптимальную комбинацию материалов

и конструктивных решений ещё на стадии проектирования, что значительно снижает вероятность ошибок и неоправданных затрат в будущем. Грамотный выбор фасадной системы позволяет достичь баланса между энергоэффективностью, долговечностью и эстетикой, что соответствует принципам устойчивого развития в современном строительстве. Будущее фасадостроения видится в развитии «умных» адаптивных систем, способных динамически реагировать на изменение внешних условий, включая удаление избыточных теплоступлений из буферных зон путём аэрации, изменение прозрачности остекления

или регулирование воздушных потоков. Такие системы могут быть интегрированы в общую систему «умного дома» и городского хозяйства, обмениваясь данными с метеостанциями и прогнозами погоды для упреждающей настройки параметров теплозащиты. Это позволяет снизить нагрузку на системы охлаждения и отопления зданий, обеспечивая максимальный комфорт при минимальном энергопотреблении и приближая человечество к созданию действительно устойчивой искусственной среды обитания, где каждый элемент здания работает в гармонии с природой и потребностями человека.

Библиографический список

1. Шуршилини Е.А., Олехнович Я.А. Влияние отказа работы облицовочных панелей на тепло-технические свойства навесных вентилируемых фасадных конструкций // Строительство и техногенная безопасность. – 2024. – № 32(84). – С. 55-62. DOI: 10.29039/2413-1873-2024-32-55-62.
2. Гнедина Л.Ю., Опарина Л.А. Особенности проектирования стеновых ограждающих конструкций жилых зданий на территории РФ // Жилищное строительство. – 2024. – № 12. – С. 35-41.
3. Малыгина О.А. Имитационное моделирование тепловлажностного состояния ограждающих конструкций зданий с вентилируемым фасадом в COMSOL Multiphysics // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2024. – № 9. – С. 60-63.
4. Радаев А.Е., Гамаюнова О.С., Бардина Г.А. Использование средств оптимизационного моделирования для обоснования характеристик энергоэффективного конструктивного решения // Строительство и техногенная безопасность. – 2022. – № 27(79). – С. 5-25.
5. Левин Е.В., Окунев А.Ю. Экспериментальные исследования теплоступлений в помещения зданий через деревянные ограждающие конструкции в летний период // Жилищное строительство. – 2024. – № 7. – С. 38-45. – DOI: 10.31659/0044-4472-2024-7-38-45.
6. Бабкин С.В. Анализ теплозащитных свойств навесных фасадных систем многоэтажных жилых зданий г. Москвы / С.В. Бабкин, Р.Б. Гиясов, И.В. Гиясова // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 1(109). – С. 305-313. – EDN НКТJRL.
7. Немова Д.В. Навесные вентилируемые фасады: обзор основных проблем / Д.В. Немова // Инженерно-строительный журнал. – 2010. – № 5(15). – С. 7-11. – EDN MWNGX.
8. Numerical simulation of ventilated facades under extreme climate conditions / M.R. Petrichenko, E.V. Kotov, D.V. Nemova [et al.] // Magazine of Civil Engineering. – 2018. – № 1 (77). – P. 130-140. – DOI 10.18720/MCE.77.12. – EDN XPKZPN.

**IMPROVED THERMAL INSULATION PROPERTIES OF THE FACADE:
A SYSTEMATIC APPROACH TO THE CHOICE OF FACADE SYSTEM**

S.A. Paplauskas, *Graduate Student*

K.S. Artyushenko, *Graduate Student*

**Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia
(Russia, Moscow)**

***Abstract.** In the context of increasing demands for energy efficiency in buildings, the facade system is becoming crucial as an element of thermal protection. The article examines the principles of rational choice of facade solutions that ensure optimal insulation characteristics while maintaining the durability and architectural expressiveness of the building. Special attention is paid to the interrelation of thermophysical and humidity processes in multilayer structures, which determine the actual effectiveness of the facade throughout its entire service life. The analysis of modern solutions demonstrates the transition from passive thermal protection to active and adaptive systems that integrate the functions of energy conservation, climate control and renewable energy generation.*

***Keywords:** facade system; thermal protection of buildings; energy efficiency; ventilated facade; resource-saving technologies; vapor permeability; building life cycle.*