

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ВЛАЖНОЙ ВНУТРЕННЕЙ СРЕДОЙ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ

Р.Р. Сайдулина, аспирант

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (Россия, г. Санкт-Петербург)

DOI:10.24412/2500-1000-2026-5-1-367-371

Аннотация. Статья посвящена системному анализу обеспечения долговечности ограждающих конструкций зданий с влажной внутренней средой в Арктической зоне РФ. Показано, что основными причинами ускоренной деградации являются диффузия водяного пара и циклическое замораживание-оттаивание, не учитываемые действующими нормами. Таким образом обоснован переход от стратегии «абсолютной пароизоляции» к проектированию вентилируемых систем, способных отказоустойчиво управлять влагой.

Ключевые слова: долговечность; ограждающие конструкции; влажный режим; Арктическая зона; тепловлажностный режим; вентилируемые конструкции; пароизоляция; системный подход; диффузия водяного пара; управление влагой.

Освоение Арктической зоны РФ требует решения сложнейших инженерных задач, среди которых обеспечение долговечности ограждающих конструкций занимает особое место [1, 2]. Для зданий с влажным внутриэксплуатационным режимом (бани, бассейны, прачечные, мокрые производственные цеха) проблема усугубляется интенсивным потоком водяного пара из помещения наружу. В холодный период года этот пар конденсируется, замерзает и накапливается в толще стены, запуская каскад деградационных процессов [3, 4]. Практика обследования зданий показывает, что ограждающие конструкции с влажной средой в Арктике теряют эксплуатационные качества уже через 10-15 лет вместо проектных 50 лет [5]. Действующие нормы (СП 50.13330.2024) определяют правила расчёта влажностного режима, но их критерий – «накопленная за зиму влага должна испариться за лето» – не учитывает цикличность замораживания-оттаивания [6]. Для зданий с влажным режимом эксплуатации подобный подход требует уточнения, поскольку расчёт

по сезонному балансу влаги не раскрывает физическое состояние воды в порах материалов. В арктических условиях влага многократно переходит из жидкой фазы в лед и обратно. Каждый такой переход сопровождается локальным давлением на поровую структуру, нарушением сцепления слоев и снижением сопротивления теплопередаче. Поэтому оценка пригодности конструкции для северных районов требует анализа траектории её движения, зоны конденсации и числа опасных температурных переходов в течение отопительного периода.

Результаты исследования

Анализ показывает, что все основные механизмы разрушения – морозная деструкция, коррозия арматуры и связей, снижение теплозащитных свойств – имеют единый источник: неконтролируемую диффузию водяного пара с последующей конденсацией и замерзанием в толще конструкции. Для систематизации угроз были выделены четыре ключевых механизма деградации (табл. 1, рис. 1).

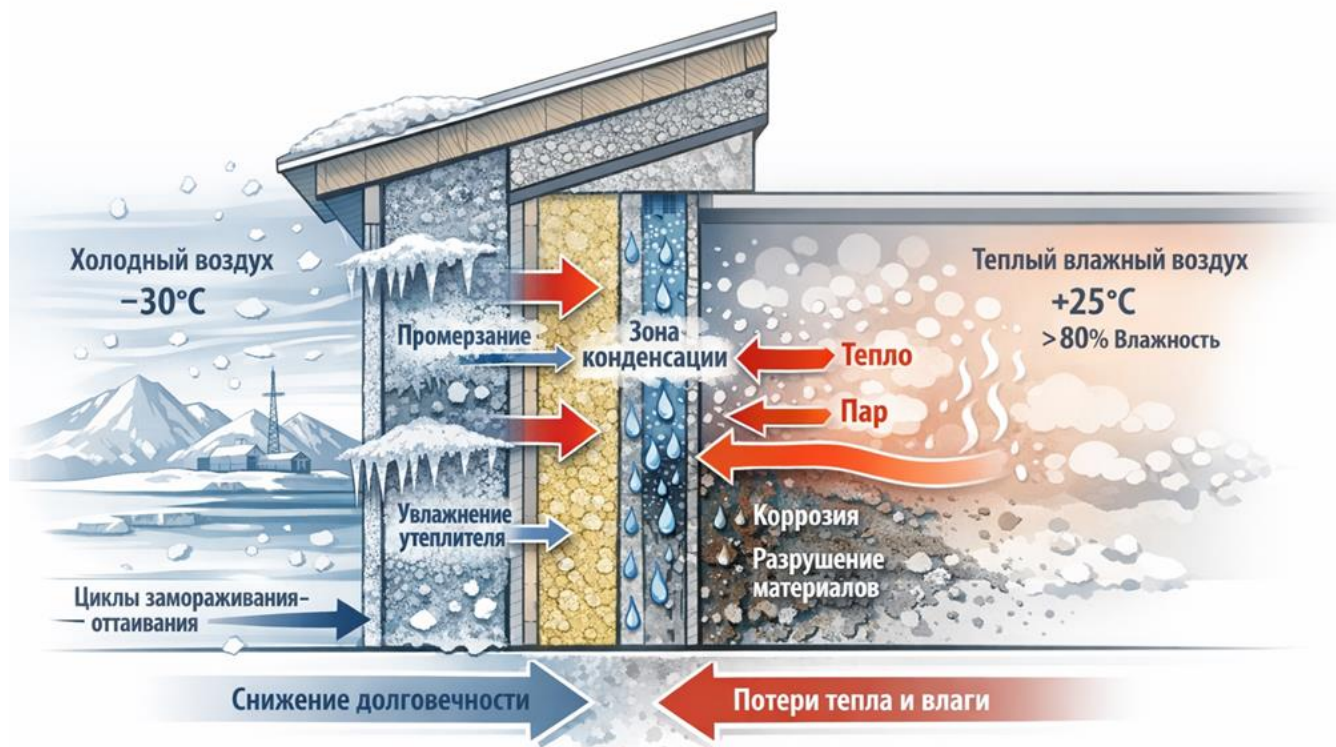


Рис. 1. Тепловлажностные процессы в ограждающих конструкциях при эксплуатации в Арктике

Внутренняя конденсация изменяет влажность утеплителя, затем рост теплопроводности смещает температурное поле внутри конструкции, после чего зона отрицательных температур приближается к несущему слою или к металлическим связям. В результате даже небольшой дефект пароизоляции со

временем перерастает в устойчивую цепочку повреждений. Наиболее опасны повторяемые сезонные циклы, при которых конструкция не успевает восстановить исходные теплотехнические свойства до начала следующего холодного периода.

Таблица 1. Основные механизмы деградации ограждающих конструкций

Механизмы	Физическая сущность	Последствия
Внутренняя конденсация и льдообразование	Достижение точки росы в зоне отрицательных температур, фазовый переход	Снижение термического сопротивления, разрушение пористых материалов
Морозная деструкция	Циклические фазовые переходы воды с объёмным расширением	Потеря прочности, трещины, расслоение
Коррозия металлических элементов	Электрохимические процессы при доступе влаги и кислорода	Снижение несущей способности
Биологическое поражение	Развитие микроорганизмов в зоне увлажнения	Ухудшение санитарных условий

Практическая оценка долговечности требует учитывать положение каждого слоя относительно зоны выпадения конденсата. При одинаковом составе стены риск разрушения меняется в зависимости от того, где возникает точка росы: внутри утеплителя, на границе с несущим слоем либо в зоне крепежных элементов. Если влага концентрируется в теплоизоляции, основная угроза связана с потерей

теплозащитных свойств. При смещении конденсации к бетону, кирпичу или металлическим связям возрастает вероятность трещинообразования, коррозии и нарушения сопряжений. Поэтому долговечность ограждения определяется сочетанием паропроницаемости, морозостойкости, монтажной герметичности и способности конструкции выводить избыточную влагу.

Выбор теплоизоляционного материала для влажных помещений в Арктике не может быть формальным. Поведение различных утеплителей под действием влаги и циклического замораживания принципиально различается (табл. 2). Минеральная вата, широко применяемая в типовом строительстве, в условиях постоянного притока пара быстро теряет свойства: её теплопроводность при намокании возрастает в 2-3 раза. Высокая па-

ропроницаемость этого материала полезна в вентилируемой системе, но становится фатальным недостатком в глухой стене с дефектной пароизоляцией. Экструдированный пенополистирол (XPS) и пенополиизоцианурат (PIR) значительно устойчивее к увлажнению, однако их низкая паропроницаемость требует безупречного выполнения пароизоляции, так как любая попавшая влага окажется запертой внутри [7, 8].

Таблица 2. Сравнительная характеристика утеплителей для арктических условий

Механизмы	Водопоглощение	Поведение при увлажнении	Чувствительность к циклам «заморозка–оттайка»
Минеральная вата	Высокое (до 30 %)	Резкий рост теплопроводности (в 2–3 раза)	Высокая (разрушение структуры)
XPS	Низкое (1–2 %)	Незначительный рост	Низкая
PIR	Очень низкое (< 1 %)	Практически не изменяет свойств	Низкая

Для влажных помещений выбор утеплителя должен связываться с режимом последующей эксплуатации. Минераловатные материалы оправданы при наличии устойчивого просушивания через воздушный зазор, поскольку их открытая структура облегчает выход влаги. В конструкциях без проветривания такая структура превращается в источник риска: вода удерживается в волокнистом слое, а отрицательные температуры ускоряют потерю формы и теплоизоляционных свойств. Жесткие полимерные плиты устойчивее к водопоглощению, но требуют более строгого контроля стыков, примыканий и проходок инженерных коммуникаций. Нарушение герметичности в таких системах опасно тем, что проникающая влага получает ограниченный путь выхода наружу.

Сопоставление трёх конструктивных концепций влагозащиты (табл. 3) показывает, что стратегия «абсолютной пароизоляции» в арктических условиях наименее надёжна. Достичь полной герметичности на практике чрезвычайно сложно из-за стыков, примыканий и неизбежных дефектов монтажа. Вентзазор же наоборот, позволяет удалять появившуюся влагу до момента критического накопления и последующего замерзания в конструкции. «Умные» пароизоляционные мембраны, в свою очередь, имеют свойства попеременной паропроницаемости. Такое свойство дает возможность конструкции просыхать в летний период, но и здесь имеется недостаток, в виде короткого арктического лета [4, 7].

Таблица 3. Концепция защита конструкции от влаги

Концепция	Преимущества	Недостатки в арктических условиях
Абсолютная пароизоляция	Теоретически предотвращает диффузию	Высокая чувствительность к качеству монтажа
Вентилируемый зазор	Удаляет проникшую влагу, отказоустойчива	Усложнение конструкции, риск обмерзания отверстий
«Умные» мембраны	Позволяют «просыхать» летом	Высокая стоимость, ограниченная эффективность коротким летом

Вентилируемый воздушный зазор снижает риск накопления влаги только при сохранении непрерывного движения воздуха. Для арктической эксплуатации это требует защиты входных и выходных отверстий от снегозанося, обмерзания и загрязнения. Конструк-

тивное решение должно предусматривать возможность ревизии таких зон, поскольку нарушение вентиляции приводит к переходу системы в режим закрытой полости. В этом случае влага продолжает поступать из помещения, но уже не удаляется из ограждения,

что ускоряет льдообразование и снижает надежность всей схемы влагозащиты.

Для кирпичной стены и трехслойной панели с наружным утеплением зона конденсации, в арктическом климате, располагается внутри утеплителя [8]. Такая конструкция практически защищена от морозной деструкции, а основная нагрузка, в виде попеременной заморозки и оттаивания воды, приходится на теплоизоляционный материал. Для монолитного железобетона зона конденсации приходится на границу между бетоном и утеплителем, что создает дополнительный риск для конструкции и требует проведения дополнительных мероприятий, в виде: увеличения марки бетона по морозостойкости или устройства вентзазора.

Таким образом, обеспечение долговечности ограждающих конструкций с влажной средой в Арктике требует перехода от локальной герметизации к системному проектированию. Это означает, что на стадии проекта необходимо: определять расчётное положение зоны конденсации для выбранного конструктивного решения; на основе этого выбирать материал утеплителя и концепцию защиты конструкции от влаги; предусматривать специальные (дополнительные) мероприятия для наиболее уязвимых узлов. Опыт проектирования модульных зданий и купольных конструкций для районов вечной мерзлоты [9, 11] показывает, что даже при эффективной влагозащите необходимо учитывать влияние экстремально низких температур на работу узлов и соединений в конструкции [10].

Библиографический список

1. Фаликман В.Р., Степанова В.Ф., Чехний Г.В. Бетоны и технологии для строительства зданий и сооружений в Арктической зоне // Промышленное и гражданское строительство. – 2021. – № 2. – С. 17-23.
2. Корнилов Т.А., Алексеев Н.Н. Архитектурно-конструктивные приёмы в проектировании энергоэффективных арктических поселений // Academia. Архитектура и строительство. – 2023. – № 3. – С. 54-63.
3. Горшков Р.А., Корниенко С.В. Влияние климата и наружной штукатурки на влажностный режим каменных стен // Вестник МГСУ. – 2024. – Т. 19. № 6. – С. 971-981.
4. Куприянов В.Н. Оценка и регулирование конденсации водяного пара в ограждающих конструкциях // Известия КГАСУ. – 2022. – № 1 (59). – С. 29-40.
5. Алексеев А.Г., Рабинович М.В. Влияние изменяющегося климата на техническое состояние зданий и сооружений Арктического района России... // Вестник НИЦ «Строительство». – 2019. – № 23(4). – С. 35-43.
6. СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий. – М.: Минстрой России, 2024.

На проектной стадии рационально применять последовательную схему оценки: сначала задаются внутренний влажностный режим и наружные климатические параметры, затем рассчитывается положение зоны конденсации, после чего выбираются утеплитель, пароизоляционный слой и способ удаления влаги. Отдельной проверки требуют примыкания кровли и стен, углы, оконные откосы, крепежные элементы, места ввода коммуникаций. Именно в этих зонах чаще всего возникают локальные мостики холода и нарушения герметичности. Для зданий с банями, бассейнами, прачечными и мокрыми производственными помещениями подобная проверка должна входить в основной расчёт.

Заключение

На основании изложенного можно сделать следующие выводы. Основной причиной ускоренной деградации ограждающих конструкций с влажной средой в Арктике является сочетание интенсивной диффузии водяного пара и циклического замораживания-оттаивания, не учитываемое действующими нормами в полной мере. Выбор теплоизоляционного материала и концепции влагозащиты должен основываться на положении зоны конденсации. Стратегия «абсолютной пароизоляции» в суровых арктических условиях наименее надёжна; лучше следует применять системы с вентилируемым воздушным зазором. Требуется переход к системному проектированию ограждений, управляющих влагой, с включением этапа подбора материалов, расчёта тепловлажностного режима и мер по предупреждению мостиков холода.

7. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Тепловлажностный режим ограждающих конструкций: учеб. пособие. – М.: МГСУ, 2015. – 168 с.
8. Сайдулина Р.Р., Абу-Хасан М.С. Долговечность ограждающих конструкций зданий и сооружений в арктической зоне // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2026. – № 4 (1100). – С. 50-53.
9. Егоров В.В., Абу-Хасан М.С., Розанцева Н.В., Куправа Л.Р. Быстровозводимые купольные конструкции со стенами из грунтокомпозитов и пеноизола, как способ решения транспортной инфраструктуры в районах вечной мерзлоты // БСТ. – 2019. – № 2 (1014). – С. 39-41.
10. Абу-Хасан М.С., Чарник Д.Г. Влияние экстремально низких температур на распределение нагрузки в узлах рамных конструкций // БСТ. – 2021. – № 12 (1048). – С. 39-41.
11. Егоров В.В., Абу-Хасан М.С., Куправа Л.Р., Чарник Д.Г. Анализ существующих конструкций узлов модульных зданий для северных климатических условий (зон) // БСТ. – 2018. – № 11 (1011). – С. 56-58.

**A SYSTEM APPROACH TO ENSURING THE DURABILITY OF BUILDING ENVELOPES
WITH A HUMID INDOOR ENVIRONMENT IN THE ARCTIC ZONE
OF THE RUSSIAN FEDERATION**

R.R. Saidulina, *Postgraduate Student*
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
(Russia, Saint Petersburg)

***Abstract.** The article is devoted to a system analysis of ensuring the durability of building envelopes with a humid indoor environment in the Arctic zone of the Russian Federation. It is shown that the main causes of accelerated degradation are water vapor diffusion and cyclic freeze-thaw actions, which are not fully considered by current standards. The transition from the strategy of an “absolute vapor barrier” towards the design of ventilated systems capable of fault-tolerantly managing moisture is substantiated.*

***Keywords:** building envelope durability; humid indoor environment; Arctic zone; heat and moisture transfer; ventilated building envelopes; vapor barrier; water vapor diffusion; system approach; freeze-thaw cycles; moisture management.*