
МЕХАНИЗМ ПОТЕРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ВО ВЛАЖНОЙ АРКТИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Сайдулина Регина Рамильевна,

аспирант, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, пр-т Московский, д. 9, Российская Федерация. E-mail: regi68@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена расчётно-аналитическому исследованию потери эксплуатационных качеств трёх типов наружных ограждающих конструкций при влажной внутренней среде и арктическом климатическом воздействии. Рассмотрены кирпичная стена с наружным утеплителем, монолитная железобетонная стена с наружным утеплителем и трёхслойная железобетонная панель. Актуальность темы связана с длительным холодным периодом, высоким перепадом температур, ростом парового потока из помещения и риском конденсации на границах материалов.

Ключевые слова: ограждающая конструкция, наружное утепление, кирпичная кладка, монолитный железобетон, трёхслойная железобетонная панель, влажная среда, точка росы, сопротивление теплопередаче, арктическая зона, конденсация.

MECHANISM OF PERFORMANCE LOSS IN BUILDING ENVELOPES UNDER HUMID ARCTIC CONDITIONS

Regina R. Saydulina,

Postgraduate student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky Ave., Saint Petersburg, Russian Federation
E-mail: regi68@mail.ru

ABSTRACT

The article presents a calculation-based analytical study of performance loss in three types of external building envelopes under humid indoor conditions and Arctic climatic exposure. A brick wall with external insulation, a monolithic reinforced concrete wall with external insulation and a three-layer reinforced concrete panel are examined. The relevance of the study is determined by a long cold season, a high temperature gradient, an increased vapour flow from indoor air and condensation risk at material interfaces.

Keywords: building envelope, external insulation, brick masonry, monolithic reinforced concrete, three-layer reinforced concrete panel, humid environment, dew point, thermal resistance, Arctic zone, condensation.

Влажная внутренняя среда меняет режим работы наружной стены. При повышенной относительной влажности воздуха внутри помещения парциальное давление водяного пара возрастает, поэтому в холодный период влага движется от внутреннего слоя к наружному. В арктических районах такой процесс протекает при длительном отрицательном температурном фоне и значительном перепаде между внутренним и наружным воздухом. В конструкции возникает сочетание теплопереноса, паропереноса и фазового перехода влаги [1; 2].

Повреждение наружных ограждений при таких условиях формируется не как единичный дефект, а как последовательная цепь: охлаждение материала, смещение плоскости конденсации, влагонакопление, повышение фактической теплопроводности, морозное разрушение, коррозия связей либо закладных элементов, снижение теплозащитных свойств и сокращение срока службы [3; 4]. Для конструкций с наружным утеплением особое значение получает положение несущего слоя относительно теплоизоляции. Наружный утеплитель прогревает кирпичную кладку или железобетонную основу, но локальные мосты холода и паровой поток сохраняют риск увлажнения.

Цель исследования – раскрыть механизм потери эксплуатационных качеств кирпичной стены с наружным утеплителем, монолитной железобетонной стены с наружным утеплителем и трёхслойной железобетонной панели во влажной внутренней среде при арктическом климатическом воздействии.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

определить расчётные теплотехнические различия между тремя конструкциями;

сопоставить температуру на внутренней границе утеплителя с температурой точки росы и описать конструктивные зоны, где влажностная нагрузка переходит в снижение долговечности.

Для сопоставления выбраны три конструктивные схемы. Первая схема представлена кирпичной стеной толщиной 640 мм с наружным теплоизоляционным слоем 120 мм. Вторая схема представлена монолитной железобетонной стеной толщиной 200 мм с наружным теплоизоляционным слоем 120 мм. Третья схема представлена трёхслойной железобетонной панелью, где бетонные слои имеют толщину 80 и 60 мм, а теплоизоляционный слой – 120 мм. Все три решения рассмотрены при едином внутреннем режиме +21 °С и относительной влажности 75%.

Принятые конструктивные решения различаются расположением и толщиной несущего слоя относительно теплоизоляции. Кирпичная стена имеет наиболее массивный внутренний слой, поэтому температурный перепад доходит до границы с утеплителем иначе, чем в железобетонных схемах. Монолитная железобетонная стена характеризуется меньшей толщиной несущего слоя, а трёхслойная панель переносит часть эксплуатационного риска в область стыков, связей и наружного бетонного слоя [5].

Таблица 1

Стадии потери эксплуатационных качеств ограждающих конструкций во влажной арктической среде

Стадия	Содержание процесса	Эксплуатационное последствие
1. Пароперенос	Водяной пар движется из помещения к наружным слоям стены под действием перепада	Повышается влажностная нагрузка на материал и границы слоёв

	температур и парциального давления	
2. Конденсация	При охлаждении ниже температуры точки росы часть влаги переходит в жидкую фазу	Формируется зона локального увлажнения
3. Влагонакопление	Влага удерживается в порах, швах, контактных зонах и теплоизоляционном слое	Растёт фактическая теплопроводность материала
4. Морозное повреждение	При отрицательных температурах вода в порах и трещинах замерзает и расширяется	Усиливаются микротрещины, нарушается структура материала
5. Потеря эксплуатационных качеств	Теплозащитные свойства снижаются, элементы конструкции увлажняются повторно, просушивание затрудняется	Возрастают теплотери, риск коррозии, биопоражения и сокращения срока службы

Температурное положение внутренней границы утеплителя при новых исходных данных меняет оценку зон риска. При наружной температуре $-47\text{ }^{\circ}\text{C}$ [6], внутренней температуре $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 75 % расчётная температура точки росы составляет около $+16,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В кирпичной стене температура перед утеплителем оказывается существенно ниже этого значения, что указывает на выраженный риск конденсации на границе кирпичной кладки и теплоизоляции. В монолитной железобетонной стене расчётная температура перед утеплителем близка к точке росы, поэтому такая зона требует контроля по паропереносу и узлам примыкания [7]. В трёхслойной железобетонной панели плоский участок сохраняет небольшой положительный запас, но стыки, связи и наружный бетонный слой остаются зонами эксплуатационного риска [8; 9].

Следовательно, для трёхслойной железобетонной панели, небольшой положительный запас в $+0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ нельзя считать достаточным для вывода о полной устойчивости конструкции, поскольку панельная система чувствительна к монтажным швам, гибким связям, локальным мостам холода и увлажнению наружного бетонного слоя (см. Табл. 2).

Таблица 2

Температура перед утеплителем и запас относительно точки росы

Конструкция	T перед утеплителем, $^{\circ}\text{C}$	T точки росы, $^{\circ}\text{C}$	Запас, $^{\circ}\text{C}$
Кирпич + наружный утеплитель	+1,3	+16,4	-15,1
Монолитный ЖБ + наружный утеплитель	+15,7	+16,4	-0,7
Трёхслойная ЖБ панель	+17,1	+16,4	+0,7

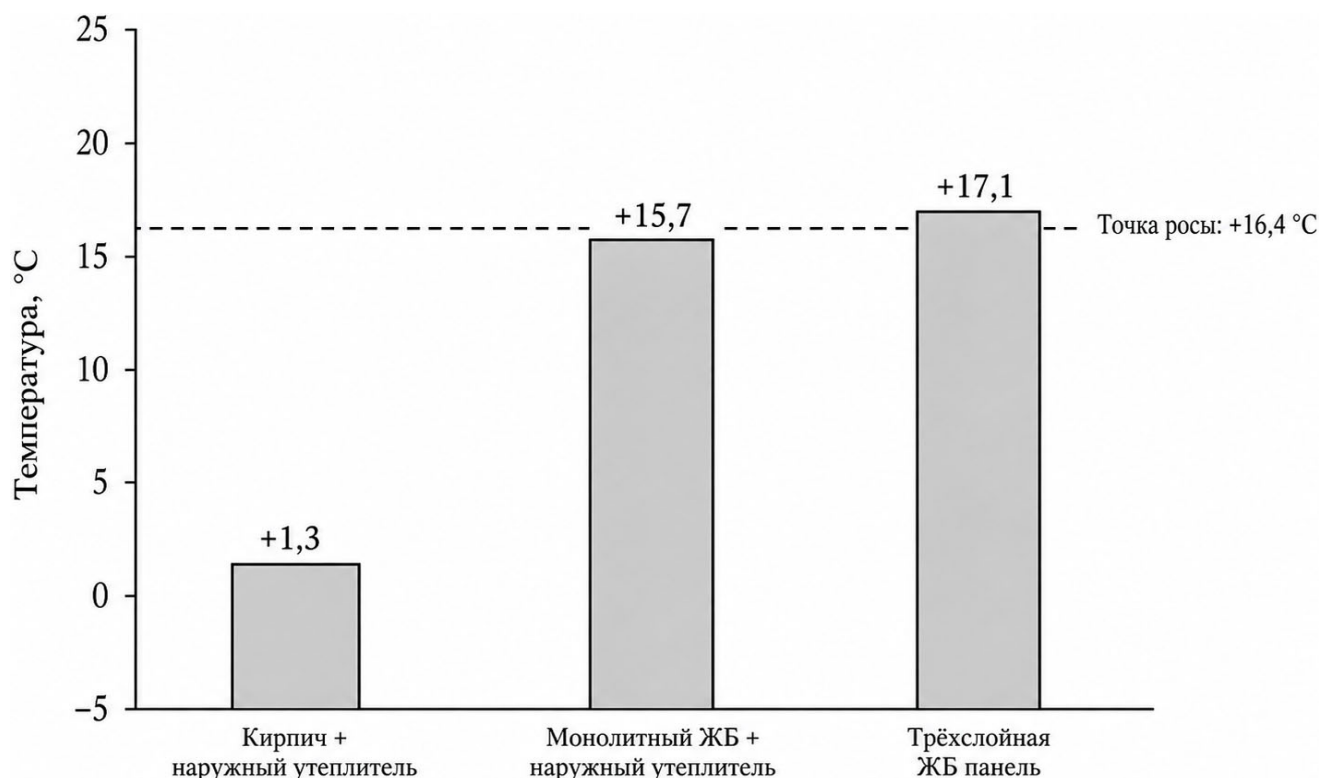


Рисунок 1 – Температура на внутренней границе утеплителя относительно точки росы

В реальной конструкции парциальное давление водяного пара уменьшается по толщине ограждения в зависимости от сопротивления паропрооницанию слоёв. Поэтому температура ниже точки росы ещё не даёт автоматического вывода о количестве конденсата. Тем не менее для влажной внутренней среды такая плоскость считается зоной повышенного контроля, поскольку длительный холодный период ограничивает просушивание. Руководства по влажностному расчёту указывают на связь переувлажнения с ростом теплопотерь, отслоением облицовочных слоёв и сокращением срока службы ограждений [10].

Заключение

Данное сопоставление показывает, что увеличение толщины кирпичной кладки не снижает влажностный риск на границе с теплоизоляцией. Напротив, массивная кладка принимает на себя значительную часть температурного перепада, из-за чего контакт кирпича и утеплителя оказывается сильно охлаждённым. Такая схема требует первоочередной проверки внутреннего пароограничения.

Монолитный железобетон с наружным утеплением занимает промежуточное положение. Температура перед утеплителем близка к точке росы, поэтому даже небольшие отклонения фактических свойств материалов, способны перевести конструкцию в зону конденсационного риска.

Трёхслойная железобетонная панель имеет небольшой положительный запас по температуре плоского участка, но эксплуатационная устойчивость такой системы определяется не только расчётной температурой перед утеплителем. В такой системе долговечность зависит от качества связей, герметичности стыков, водонепроницаемости наружного слоя и сохранности теплоизоляции.

Список литературы:

1. Корнилов Т.А., Алексеев Н.Н. Архитектурно-конструктивные приёмы в проектировании энергоэффективных арктических поселений // Academia. Архитектура и строительство. 2023. № 3. С. 54–63. DOI: 10.22337/2077-9038-2023-3-54-63. (3)
2. Егоров В.В., Абу-Хасан М.С., Розанцева Н.В., Куправа Л.Р. Быстровозводимые купольные конструкции со стенами из грунткомпозитов и пеноизола, как способ решения транспортной инфраструктуры в районах вечной мерзлоты. БСТ: Бюллетень строительной техники. 2019. № 2 (1014). С. 39-41. (7)
3. Абу-Хасан М.С., Чарник Д.Г. Влияние экстремально низких температур на распределение нагрузки в узлах рамных конструкций. БСТ: Бюллетень строительной техники. 2021. № 12 (1048). С. 39-41. (10)
4. Абу-Хасан М.С., Егоров В.В., Куправа Л.Р., Чарник Д.Г. Термостабилизация вечномерзлых грунтов при возведении сооружений в северных климатических зонах. БСТ: Бюллетень строительной техники. 2019. № 4 (1016). С. 40-42. (9)
5. СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: Минстрой России, 2024. (4)
6. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. М.: Минстрой России, 2020. (5)
7. 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: Бюллетень строительной техники. 2018. № 11 (1011). С. 56-58. (8)
8. Калинина А.И., Плаксина Е.В., Долбилова М.А. Основы расчета влажностного режима ограждающих конструкций // Инновации и инвестиции. 2021. № 4. С. 231–234. (1)
9. Куприянов В.Н. Оценка и регулирование конденсации водяного пара в ограждающих конструкциях // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. № 1 (59). С. 29–40. DOI: 10.52409/20731523_2022_1_29. (2)
10. 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. (6)

References:

1. Kornilov T.A., Alekseev N.N. Arkhitekturno-konstruktivnye priemy v proektirovanii energoeffektivnykh arkticheskikh poseleniy [Architectural and constructive techniques in the design of energy-efficient Arctic settlements]. Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo, 2023, no. 3, pp. 54–63. DOI: 10.22337/2077-9038-2023-3-54-63. (In Russ.) (3)
2. Egorov V.V., Abu-Hassan M.S., Rozantseva N.V., Kuprava L.R. Prefabricated dome structures with walls of soil composites and foam resin as a way to solve transport infrastructure in permafrost areas. BST: Bulletin of Construction Machinery. 2019. No. 2 (1014). pp. 39-41. (7)

3. Abu-Hassan M.S., Charnik D.G. The effect of extremely low temperatures on load distribution in the nodes of frame structures. BST: Bulletin of Construction Machinery. 2021. No. 12 (1048). pp. 39-41. (10)
4. Abu-Hassan M.S., Egorov V.V., Kuprava L.R., Charnik D.G. Thermal stabilization of permafrost soils during the construction of structures in northern climatic zones. BST: Bulletin of Construction Machinery. 2019. No. 4 (1016). pp. 40-42. (9)
5. SP 50.13330.2024. Teplovaya zashchita zdaniy [Thermal performance of buildings]. Moscow, Minstroy Rossii, 2024. (In Russ.) (4)
6. SP 131.13330.2020. Stroitel'naya klimatologiya [Building climatology]. Moscow, Minstroy Rossii, 2020. (In Russ.) (5)
7. Egorov V.V., Abu-Hassan M.S., Kuprava L.R., Charnik D.G. Analysis of existing structures of modular buildings for northern climatic conditions (zones). BST: Bulletin of Construction Machinery. 2018. No. 11 (1011). pp. 56-58. (8)
8. Kalinina A.I., Plaksina E.V., Dolbilova M.A. Osnovy rascheta vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruktsiy [Fundamentals of calculating the humidity regime of building envelopes]. Innovatsii i investitsii, 2021, no. 4, pp. 231-234. (In Russ.) (1)
9. Kupriyanov V.N. Otsenka i regulirovanie kondensatsii vodyanogo para v ograzhdayushchikh konstruktsiyakh [Evaluation and regulation of water vapor condensation in building envelopes]. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta, 2022, no. 1(59), pp. 29-40. DOI: 10.52409/20731523_2022_1_29. (In Russ.) (2)
10. Saidulina R.R., Abu-Hassan M.S. Durability of enclosing structures of buildings and structures in the Arctic zone. BST: Bulletin of Construction Machinery. 2026. No. 4 (1100). pp. 50-53. (6)