

УДК 692.232.4:536.245

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КРЕПЛЕНИЙ НА ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Добросмыслов С.С., Назиров Р.А., Перькова М.А., Пылаева М.М., Огорельцева Н.А.
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: dero-gai@mail.ru

Статья посвящена исследованию влияния металлических креплений на температурно-влажностный режим в наружных ограждающих конструкциях при монолитном домостроении. Рассмотрена и решена система дифференциальных уравнений тепло- и влагопереноса для условий строительства в г. Красноярске в качестве граничных условий выбраны климатические характеристики самого холодного месяца (января) и самой холодной пятидневки. Верификация предложенной модели проведена на аналитическом решении, которое было получено для одномерного случая. Показано, что снижение внешней температуры значительно изменяет температурно-влажностный режим функционирования наружной ограждающей конструкции, а также что использование металлических креплений приводит к существенному изменению температурных и влажностных полей, а также к невыполнению санитарно-гигиенических требований представленных в СП 50.13330.2012, что должно приводить к выпадению конденсата. Следовательно, при использовании металлических креплений необходимы дополнительные мероприятия по теплозащите.

Ключевые слова: конденсат, влажность, теплопроводность, температура, паропроницаемость

THE INVESTIGATION OF METAL BRACING IMPACT TO TEMPERATURE AND HUMIDITY REGIME OF EXTERIOR ENCLOSING STRUCTURES

Dobrosmyslov S.S., Nazirov R.A., Perkova M.A., Pylaeva M.M., Ogoreltseva N.A.
*Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education «Siberian Federal University»,
Krasnoyarsk, e-mail: dero-gai@mail.ru*

The paper investigates metal bracing impact to temperature and humidity regime of exterior enclosing structures in solid building constructions. Differential equations system of heat and humidity shift in Krasnoyarsk building conditions was considered. The coldest month (January) and week climatic characteristics were chosen as limiting conditions. The suggested module verification was made according to analytical solution obtained for one-dimensional case. It was found out that exterior temperature decreasing considerably changes the temperature and humidity operating regime of exterior enclosing structure and the anchor bracings using causes temperature and damp fields changing. Also it resulted in sanitary hygienic authority regulations unfulfilling given in SR 50.13330.2012 must cause condensation. We conclude that additional measures to protect warmth should be taken while using metal bracings.

Keywords: condensation, humidity, heat conducting, temperature, vapor penetration

Исследование температурно-влажностного режима наружных ограждающих конструкций представляет большой интерес в связи с возможностью повышения срока эксплуатации и улучшения технико-экономических характеристик эксплуатации зданий и сооружений [1, 2]. Данным вопросом занимаются большое количество исследователей (С.В. Корниенко [3], В.Г. Гагарин [4] и др.). Повышение энергоэффективности и тепловой защиты зданий является актуальной проблемой строительства и архитектуры. Решение этой проблемы необходимо на всех этапах жизненного цикла здания – при проведении инженерных изысканий, проектировании, строительстве, эксплуатации, реконструкции, капитальном ремонте, сносе. Минимально необходимые требования по тепловой защите и энергоэффективности зданий отражены в Федеральном законе № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [5].

В ограждающих конструкциях современных зданий трудно выделить участок, в пределах которого перенос тепла и влаги происходит по одномерной схеме. Наличие в ограждениях неоднородных участков в виде углов наружных стен, оконных откосов, конструктивных связей, сопряжений внутренних и наружных конструкций приводит к образованию в них сложных трехмерных температурных и влажностных полей [5]. Значительный интерес представляет задача, связанная с определением температурно-влажностного режима при использовании навесных фасадов, в связи с тем, что металлические крепления проходят сквозь утеплитель, образуя тем самым мостики холода.

Основным отличием фасадов с вентилируемым воздушным зазором от давно известных стен с вентилируемой воздушной прослойкой является наличие в зазоре мощного теплоизоляционного слоя метал-

лической подконструкции и облицовочного слоя, определяющего архитектурный облик здания. Если стены с вентилируемой воздушной прослойкой применялись в малоэтажных зданиях, то фасады с вентилируемым воздушным зазором применяются и в многоэтажных зданиях высотой в десятки метров, что также определяет специфику их теплофизических свойств [7]. В то же время скорость потока воздуха в вентилируемой прослойке невелика и составляет порядка 1 м/с [7].

В связи с тем, что при проектировании навесного фасада необходимо учитывать: конвективные потоки в воздушной прослойке ограждающей конструкции и также температурные и влажностные поля, задача использования навесного фасада сложна и не решена окончательно, требуется дальнейшая проработка вопроса [8, 9].

В процессе эксплуатации внутри наружных ограждающих конструкций происходит выпадение конденсата. При проектировании возможное накопление влаги в конструкции регламентируется соблюдением положений [10]: недопустимостью накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации и ограничением влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха. Оба положения базируются на средних расчетных величинах, имеют усредненный характер, а расчет производится на границах слоев материалов, предполагая априори линейную зависимость влажности воздуха от температуры в однородном слое конструкции. Однако, согласно фундаментальным физическим законам [11, 12], зависимость давления насыщенного водяного пара от температуры – экспоненциальная.

Использование различных высокотеплопроводных неоднородностей (креплений) в ограждающих конструкциях приводит к существенному локальному изменению температуры [13] и влажности [6] в отдельных частях наружных ограждающих конструкций. Расчет таких участков весьма трудоемок и требует применения современных программных комплексов.

Однако в отличие от расчетов температурных полей строительными нормами не предусматривается проведение расчетов относительной влажности воздуха в порах материалов многослойных конструкций и соответствующей этой влажности теплопроводности, что в свою очередь делает приближенным расчет тепловых потерь всей оболочкой здания.

Существуют экспериментальные методики определения температурно-влажност-

ного режима функционирования наружных ограждающих конструкций [5], однако их использование требует наличия здания, в котором должен быть проведен эксперимент [14]. В большинстве случаев недостатки предложенных конструкций необходимо определять на стадии проектирования. Выявление недостатков можно осуществлять путем численного моделирования. В современных строительных нормах [8] численное моделирование необходимо проводить только для процесса теплопереноса (решив уравнение теплопроводности). Для учета температурно-влажностных характеристик уравнение теплопереноса необходимо дополнить уравнением диффузии водяного пара. В нормативной строительной документации [8, 9] в качестве величины, характеризующей перенос влаги, используют коэффициент влагопроницаемости, следовательно, уравнение диффузии водяного пара целесообразно преобразовать в вид относительно давления, а не концентрации.

Цель исследования

Основной целью работы является математическое моделирование распределения температуры и влажности в неоднородных слоях ограждающей конструкции с металлическим креплением навесного фасада в зависимости от изменения температурно-влажностных параметров наружного воздуха.

Материалы и методы исследования

Методика расчета

В проведенной работе использовались климатические характеристики самого холодного месяца (январь) и самой холодной пятидневки. Согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», санитарно-гигиенический расчет ведется для климатических условий самой холодной пятидневки, а расчет влажности – для самого холодного месяца. Данные требования связаны с тем, что времена релаксации для процессов температурно- и влагопроводности отличаются на несколько порядков.

Система дифференциальных уравнений используемая в расчете:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial x} \lambda \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \lambda \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial e}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial e}{\partial y} = 0 \\ E = 1,84 \times 10^{11} \exp\left(\frac{-5330}{T}\right) \\ \varphi = \frac{e}{E} \end{array} \right. ,$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м×°С); T – температура, К; μ – коэффициент паропроницаемости, мг/(ч×м×Па); e – парциальное давление во-

дяного пара, Па; E – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па; ϕ – относительная влажность воздуха, дол.

Условия однозначности:

– Размер и геометрическая форма расчетной области представлена на рис. 1.

– Свойства используемых материалов приведены в таблице.

– Граничные условия. Внутри помещения: температура 21°C согласно ГОСТ 30494, относительная влажность воздуха 55% (1371 Па). Снаружи помещения: температура -16 и -37°C , парциальное давление водяного пара 140 и 27 Па. Граничные условия выбраны для расчетов при средней температуре самого холодного месяца (января) и температуре самой холодной пятидневки для г. Красноярска [15].

Выбор следующих геометрических размеров обусловлен тем, что одномерный случай (стена по глади) сопоставлялся с реальной двумерной задачей.

При решении задачи, в соответствии с положениями СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» и СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий» [11, 12], учтено наличие навесного фасада снижением коэффициента теплоотдачи до $12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times ^\circ\text{C})$ и повышением температуры поверхности теплоизоляции на 5% с внешней стороны.

Результаты исследования и их обсуждение

С целью верификации предложенной модели, полученные результаты для одномерного случая сравнивались с аналитическим решением, рассмотренным в [9]. Расхождение между численным и аналитическим методом для определения парциального давления водяного пара составило менее 1%.

Теплофизические свойства материалов для условий эксплуатации А

Материал	Теплопроводность λ , Вт/(м \cdot °C)	Паропроницаемость μ , мг/(м ч Па)	Плотность ρ_0 , кг/м 3
Железобетон	1,92	0,03	2500
Плита минераловатная из каменного волокна	0,042	0,32	120
Сталь	58	–	7850

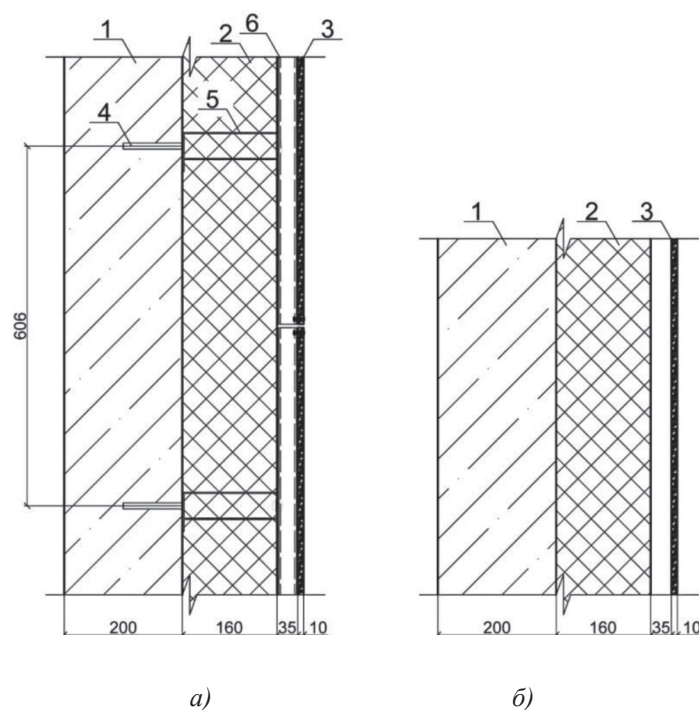


Рис. 1. Строительные узлы в двух видах: 1 – железобетонная плита; 2 – утеплитель минераловатный; 3 – фасадная плитка; 4 – дюбель фасадный с оцинкованным шурупом; 5 – кронштейн несущий; 6 – несущий вертикальный профиль

Однако для значений давлений насыщенного водяного пара результаты численных и аналитических расчетов не совпадают в области утеплителя. Данный результат объясняется тем, что для упрощения решаемой задачи в методике, представленной в нормативных документах [11, 12], расчет ведется на границах областей, где результаты совпадают и соединяются прямой, а в нашем случае расчет велся в каждой точке.

Результаты численного эксперимента

В результате расчетов определялись: относительная влажность воздуха в порах материалов (рис. 2 (а), (б) и рис. 3 (а), (б)) и значения температуры и влажности воздуха на внутренней поверхности стены (рис. 2 (в) и рис. 3 (в)). Для проверки на соответствие санитарно-гигиеническим требованиям оценивалось значение температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Из расчетов, представленных на рис. 2 (а), (б), следует, что для климатических условий января относительная влажность воздуха в порах материалов не превышает 100%, повышенная влажность наблюдается в приповерхностных зонах с наружной стороны и со стороны помещения, при этом перепад между температурами внутренней поверхности стены и воздухом внутри помещения, без учета металлических креплений в составе конструкции, составляет 1,05 °С.

Наличие металлических креплений приводит к существенному изменению температуры и влажности. Перепад между температурами внутренней поверхности стены и воздуха внутри помещения увеличился до 4–5 °С, что не удовлетворяет санитарно-гигиеническим требованиям [10]. Данный результат связан с тем, что в области крепления металлического стержня резко снижается тепловое сопротивление, что в свою очередь приводит к повышению теплового потока и, как следствие, к снижению внутренней температуры конструкции. В свою очередь, данный результат ведет за собой снижение парциального давления насыщенного водяного пара и, следовательно, повышение относительной влажности. Данный результат был получен для стационарных условий. В реальности климатические характеристики постоянно изменяются, что приводит к колебаниям температурных и влажностных полей. В свою очередь, характерные времена релаксации для температурных полей выше на порядок, чем для влажностных полей. Следовательно, при резком понижении температуры произойдет смещение изотерм в направлении к внутренней поверхности стены, а влажностные поля будут запаздывать, что приведет к повышению вероятности выпадения конденсата.

Повторим проведенные расчеты для экстремальных климатических условий (самая холодная пятидневка).

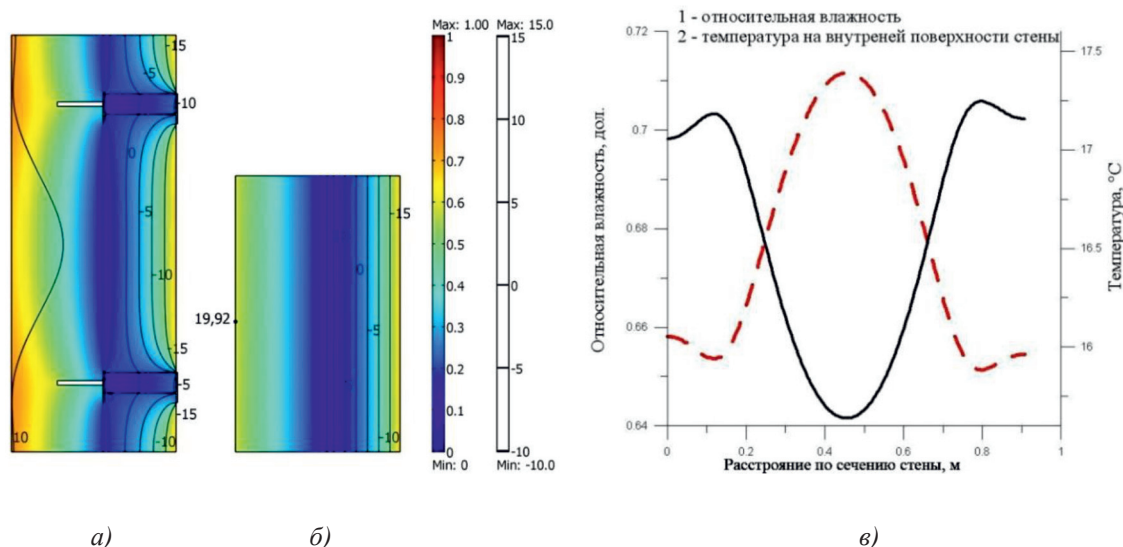


Рис. 2. Относительная влажность ограждающей конструкции для среднемесячной температуры наиболее холодного месяца (январь), (а) – с учетом металлических креплений, (б) – без учета металлических креплений; (в) – значения температуры и относительной влажности на внутренней поверхности стены с учетом металлических креплений: 1 – относительная влажность, 2 – температура на внутренней поверхности стены

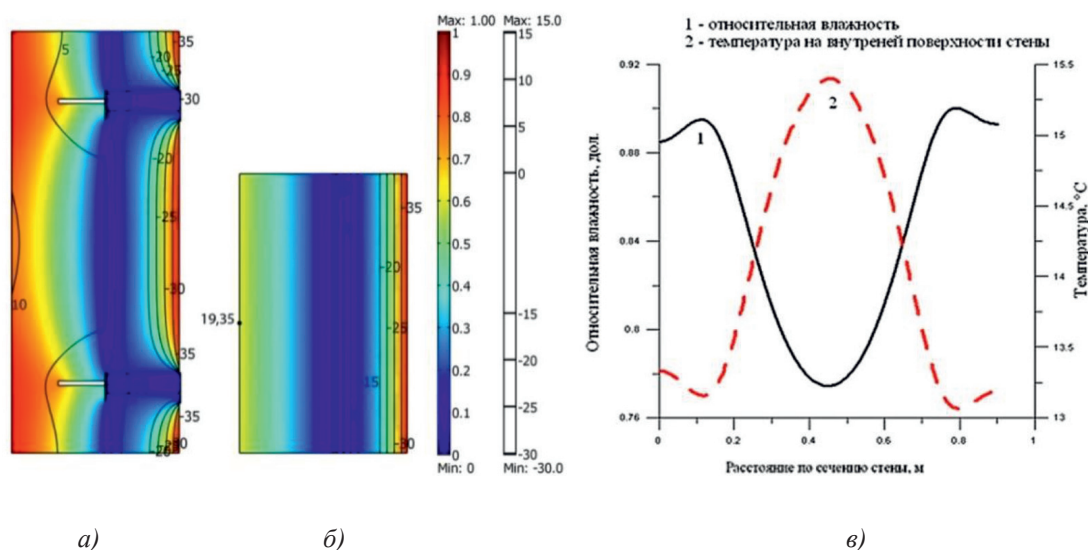


Рис. 3. Относительная влажность ограждающей конструкции для среднемесячной температуры наиболее холодного месяца: (а) – с учетом металлических креплений, (б) – без учета металлических креплений; (в) – значение температуры и относительной влажности на внутренней поверхности стены с учетом металлических креплений: 1 – относительная влажность, 2 – температура на внутренней поверхности стены

Снижение внешней расчетной температуры с -16°C до -37°C приводит к количественному изменению температурно-влажностного состояния наружной ограждающей конструкции (рис. 3). Характер распределения температуры и влажности аналогичен (рис. 2).

Санитарно-гигиенические условия без учета металлических креплений выполняются, перепад составляет $1,7^{\circ}\text{C}$. На рис. 3 (в) представлены значения температуры и относительной влажности на внутренней поверхности ограждающей конструкции с учетом металлических креплений, для самой холодной пятидневки.

Снижение внешней температуры приводит к существенному повышению увлажненности ограждающей конструкции (рис. 3 (а), (б)), причем характер зависимости имеет экспоненциальный характер.

Как следует из результатов, представленных на рис. 3 (в), для климатических условий самой холодной пятидневки, санитарно-гигиенические требования не выполняются в части значения температурного перепада между температурой внутреннего воздуха и поверхности стены. На внешних границах стенового ограждения увеличивается значение относительной влажности воздуха, свидетельствующее о повышении вероятности выпадения конденсата.

При понижении внешней температуры повышается влажность пристеночной обла-

сти, однако, снижается вероятность резкого понижения температуры. Исследование влияния резкого снижения температуры на температурно-влажностный режим требует дальнейшей проработки.

В связи с тем, что времена релаксации для процессов тепло- и влагопроводности отличаются на несколько порядков, при расчете необходимо учитывать временные зависимости. Однако в нашем случае расчет велся для стационарных условий, что говорит о незавершенности данной работы.

Дальнейшее направление исследований связано с переходом от двумерного пространства в трехмерное с учетом временных зависимостей, что позволит более объективно смоделировать поведение наружных ограждающих конструкций в условиях эксплуатации.

Заключение

В рамках работы, проведено исследование поведения стеновой конструкции с навесным фасадом для города Красноярск. Показано, что при температурно-влажностных расчетных условиях самого холодного месяца (январь) относительная влажность внутреннего воздуха на поверхности стены не превышает 100%.

Для внешних условий самой холодной пятидневки вероятность выпадения конденсата повышается на внешней грани-

це утеплителя и внутренней поверхности стены. Одновременно в местах крепления навесного фасада температурный перепад составляет 4–5°C, что не соответствует требованиям СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Следовательно, при проектировании зданий с использованием навесного фасада необходимо учитывать температурные и влажностные поля вокруг мест расположения металлических креплений навесного фасада.

Для повышения точности расчета тепловых потерь оболочкой здания является целесообразным изучение распределения парциального давления водяных паров в порах материалов многослойных конструкций с целью получения фактической сорбционной влажности материалов и соответствующей этой влажности теплопроводности.

Список литературы

1. Фролова, И.Г. Нарушение температурно-влажностного режима фактор снижения безопасности / И.Г. Фролова, С.В. Фролов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2013. – № 3 – С. 108–112.
2. Зимин С.С. Причины деструкции кладки наружных стен технического этажа / С.С. Зимин, О.В. Романова, Н.П. Романов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 10 – С. 112–122.
3. Корниенко С.В. Температурно-влажностный режим и теплозащитные свойства ограждающих конструкций с краевыми зонами / С.В. Корниенко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 35 – С. 62–69.
4. Гагарин В.Г. Теплофизические проблемы современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий / В.Г. Гагарин // Архитектура и строительство. – 2009. – № 5 – С. 297–305.
5. Корниенко С.В. Комплексная оценка энергоэффективности и тепловой защиты зданий / С.В. Корниенко // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 11 – С. 43–58.
6. Корниенко С.В. Температурно-влажностный режим наружных стен с вентилируемым фасадом / С.В. Корниенко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. – 2009. – № 5 – С. 389–395.
7. Гагарин В. Г. Теплозащита фасадов с вентилируемым воздушным зазором / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов, Е.Ю. Цыкановский // АВОК. – 2004. – № 2. – С. 20–26.
8. Фиалко И.Ф. Энергоэффективность систем утепления наружных стен зданий и сооружений с вентилируемыми воздушными прослойками / И.Ф. Фиалко, А.С. Стаценко // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2009. – № 3 – С. 82–87.
9. Жуков А.Д. Системы вентилируемых фасадов / А.Д. Жуков // Строительство: наука и образование. – 2012. – № 1 – С. 1–15.
10. Свод правил: СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий: актуализированная версия – взамен СНиП 23-02-2003; введ. 2013 – 07 – 01. – М., 2012. – 96 с.
11. Свод правил по проектированию и строительству: СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий. – М., 2004. – 186 с.
12. Соловьев А.К. Физика среды / А.К. Соловьев. – М.: АСВ, 2008. – 344 с.
13. Назиров Р.А. Особенности формирования температурных полей вблизи анкера крепления каркаса навесных вентилируемых фасадов / Р.А. Назиров, Т.В. Белов // Изв. вузов. Строительство. – Новосибирск: НГАСУ. – 2013. – № 6. – С. 76–83.
14. Корниенко С.В. Тестирование метода расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций на результатах телевизионного обследования жилого здания / С.В. Корниенко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – № 29. – С. 75–79.
15. Свод правил: СП 131.13330.2012. Строительная климатология: актуализированная версия – взамен СНиП 23-01-99; введ. 2013 – 01 – 01. – М., 2015. – 119 с.