

УДК 699.865

НЕГАТИВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ПРИМЕРЕ УТЕПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ

Долгих П. А., студент гр. СПм-191, I курс
Гилязидинова Н. В., к. т. н., профессор

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Термомодернизация зданий жилого и гражданского назначения является эффективным инструментом регулирования потребления энергоресурсов. Теоретически обоснованное и практически получаемое снижение расходов на энергоносители подкрепляется доступной и сравнительно быстрой окупаемостью мероприятий по утеплению зданий. Данная практика имеет государственное регулирование на уровне требований к термическому сопротивлению ограждающих конструкций вновь возводимых зданий и сооружений. Наряду с этим, энергоэффективные мероприятия получают широкое распространение и при термомодернизации существующего жилого фонда в качестве инструмента снижения затрат на отопление и кондиционирование помещений. При этом конечный потребитель данной услуги не всегда осведомлен о возможных побочных эффектах снижения температуры теплоносителя в системах отопления.

Аксиомой является утверждение, что за блага цивилизации человечество вынуждено платить. Цена удобства и комфорта имеет не только материальное выражение, а и эквивалент в виде здоровья. Стремясь сократить денежные расходы, человек может неосознанно получить ухудшение самого ценного своего ресурса – дееспособности. В Кемеровской области весьма высоки концентрации радона в зданиях, что отчасти связано с высоким уровнем развития угольной, перерабатывающей и химической промышленности [1]. Например, аллергии давно считаются заболеванием цивилизации. По данным ВОЗ распространенность аллергических заболеваний, опосредованных иммуноглобулином Е (к ним относятся астма, риноконъюнктивит, экзема, анафилаксия) составляет более 20 %. Бронхиальная астма диагностирована у 150 млн. человек на планете, распространенность астмы у детей доходит до 15%, а у 80 % из них она имеет аллергическую природу. Роль спор плесени в развитии астмы широко освещена в статьях и научных работах в области медицины. В России и Украине не существует государственно урегулированных норм содержания спор грибов в воздухе жилых помещений. Медицинское научное сообщество при обсуждении вопросов аллергий руководствуется рекомендациями Всемирной организации здравоохранения и считает пороговой концентрацией не более 500 спор на 1 м³ воздуха. Основываясь на таком подходе, в показана прямая корреляция между общей грибковой обсеменен-

ностью воздушной среды помещений и ростом аллергической заболеваемости, наличием у жильцов клинически подтвержденных диагнозов бронхиальной астмы. По данным проживание в помещениях с превышением пороговой концентрацией спор в течение года вызывало аллергические заболевания в 73,3 % случаев, заболевания бронхиальной астмой в 30 % случаев.

В данной статье обсуждается зафиксированный случай появления локальных очагов грибкового поражения ограждающих конструкций в жилых помещениях в течение первого отопительного периода после проведения утепления фасада здания.

Основные задачи исследования:

- Выявление факторов, приводящих к местному увлажнению конструктивных элементов здания;
- Обоснование недостаточности параметров влажности воздуха и точки росы для прогнозирования конденсации влаги на поверхностях. Анализ взаимосвязи увлажнения ограждающих конструкций с термомодернизацией здания;
- Разработка энергоэффективных мероприятий по предотвращению и ликвидации увлажнения;
- Качественная оценка перспективности теоретического прогнозирования и разработки формальных моделей данных процессов.

При решении поставленных задач применялись экспериментальные и теоретические методы исследования. Основным общенаучным методом было наблюдение за процессами увлажнения конструкций здания. На основании результатов наблюдений и данных об объекте за предыдущие периоды, проведено сравнение условий функционирования здания и анализ причин проблемы. Методом прямых измерений определены параметры микроклимата помещений: влажность и температура воздуха [2]. Формальным методом определен такой параметр исследуемого объекта, как температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций и соответствующая температура точки росы. Экспериментально исследована эффективность некоторых способов устранения конденсации влаги из воздуха на ограждающих конструкциях.

Условием существования плесневых грибков в помещении является оптимальный для их развития тепло-влажностный режим, который неосознанно может быть создан при проведении термомодернизации здания, устройство различных видов облицовки фасада с утеплением [3, 4].

Оптимальные условия для пребывания человека в помещении регулируются параметрами микроклимата, к которым нормативно относятся температура, относительная влажность и скорость движения воздуха, температура поверхностей помещения, интенсивность теплового облучения. Параллельно применяются санитарно-гигиенические требования к качеству воздушной среды - предельно допустимые концентраций химических и биологических веществ. Под этим понимаются такие концентрации данных веществ, которые не оказывают влияния на здоровье человека. При этом оказывается, что

соблюдение оптимальных параметров микроклимата помещения не всегда обеспечивает санитарную гигиену относительно плесени, так как физические требования к зданиям (конденсация, плесень и т.п.) регуляторно не нормируются, а гигиенические нормы определяют критерии комфортности [5, 6].

Данные для анализа собирались на объекте в течение 2018-2019 г.г. Здание представляет собой одноэтажный одноквартирный жилой дом с несущими стенами из силикатного кирпича. Первый этап утепления ограждающих конструкций был проведен в 2011 г. На этом этапе фасад здания был оклеен пенополистирольными плитами марки ПБС-25 толщиной 30 мм и оштукатурен цементно-песчаным раствором с последующим окрашиванием. Эффективность мероприятий позволила в отопительный период при температуре наружного воздуха -10°C поднять температуру внутри здания с 16°C до 20°C при температуре теплоносителя на выходе из газового котла 60°C . В 2018 г. с целью экономии энергоносителя был проведен второй этап утепления: на фасад поверх первого слоя утеплителя были смонтированы термопанели на основе пенополистирола марки ПБС-25 толщиной 100 мм. Наружная сторона термопанели имеет фактурный защитный слой из мелкозернистого бетона, монтаж панелей проведен на клей-пену. Вид одного из фасадов после первого этапа утепления и в процессе второго показаны на рис. 1 и 2 соответственно. Проведенные мероприятия позволили добиться снижения температуры теплоносителя до 45°C при прочих равных условиях (показатель зафиксирован при температуре внешнего воздуха -10°C и внутреннего воздуха 20°C).

Средняя температура зимнего периода 2018-2019 г.г. в регионе составляла -1°C , что позволило поддерживать температуру теплоносителя на выходе из газового котла на уровне 35°C , при этом температура тупиковых радиаторов отопительной системы составляла $25-27^{\circ}\text{C}$. Очевидная эффективность утепления позволила сократить расходы на энергоноситель. Статистически достоверную количественную оценку эффективности утепления возможно будет дать после нескольких отопительных периодов. Это связано с влиянием на объективность результатов климатических показателей в отопительный период (так, долгосрочно наблюдаемая средняя температура в регионе по нормативным данным составляет $-2,4^{\circ}\text{C}$).

Параллельно с этим результатом в жилых помещениях (спальни, гостиная) появилось запотевание стеклопакетов в ночной период времени, которое не наблюдалось ранее (рис. 3). В здании установлены энергосберегающие двухкамерные стеклопакеты с инертным газовым заполнением и i-стеклом, сопротивление теплопередаче $0,7 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Также к концу зимнего периода были выявлены очаги грибковых поражений стен в этих помещениях здания. Более тщательное обследование здания обнаружило локальное увлажнение некоторых зон ограждающих конструкций: стены на уровне пола, угла комнаты на уровне потолка, угла и стены от уровня середины помещения и до потолка (рис. 4).



Рис.1. Фасад здания после монтажа первого слоя утеплителя

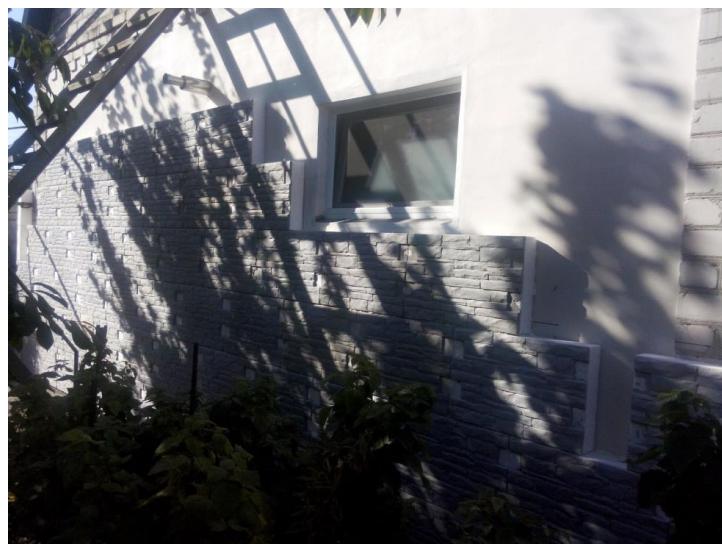


Рис.2. Фасад здания в процессе монтажа второго слоя утеплителя

Путем обследования были исключены варианты утечек и протекания воды, капиллярного подсоса и замокания фундаментов. При таких условиях возможные причины данных явлений принято искать в недостаточной вентиляции, повышенной влажности в помещении, температуре поверхности ниже точки росы.

Комплексно проанализируем влияние этих факторов на увлажнение стен и стеклопакетов в условиях данного здания, принимая во внимание, что параметры микроклимата помещений до и после термомодернизации не изменились.

Вентиляция. Вентиляция здания естественная в главных жилых помещениях с показателем свежести воздуха и комбинированная в помещениях, требующих удаления загрязнений воздуха (санузел, кухня). До проведения второго этапа термомодернизации исходных характеристик вентиляции в здании было достаточно для предотвращения нежелательной конденсации в

жилых помещениях. На основании этого можно сделать вывод об отсутствии влияния данного параметра на возникновение проблемы в данном здании.



Рис.3. Образование конденсата на стеклопакетах

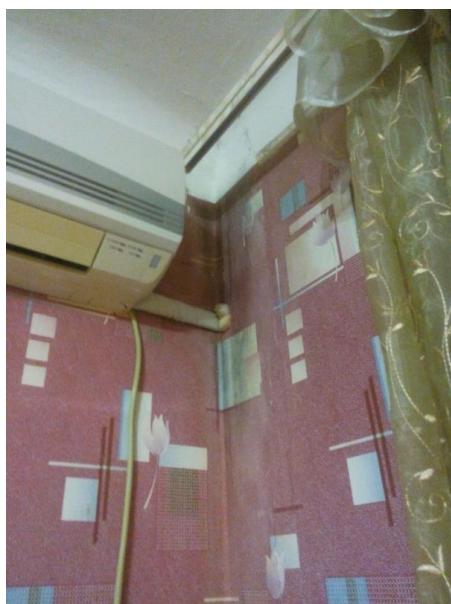


Рис. 4. Очаг протяженного грибкового поражения угловой части стены здания

Впоследствии для осушения стеклопакетов применялось принудительное проветривание, что было скорее "симптоматическим лечением", нежели эффективным мероприятием, так как потребовало дополнительных энергозатрат для подогрева поступающего внешнего воздуха. На этом основано действие рекуперационных систем вентиляции воздуха, эффективность и целесообразность применения которых в жилых помещениях предмет отдельной дискуссии.

Влажность воздуха. Относительная влажность воздуха в жилых помещениях колебалась в пределах 40-50%, что вписывается в нормы для повышенно оптимальных условий микроклимата (категория I). При замерах на подоконниках влажность поднималась до 50-60 %, что связано с понижением температуры воздуха в этой части комнаты до 17 °С. Данный интервал соот-

ветствует нормам для оптимальных условий микроклимата (категория II). Тем не менее, при расчетной влажности более 50 % допускается применение средств по осушению воздуха. С этой целью был использован влагопоглотитель на основе хлористого кальция, обладающего гигроскопичными свойствами. По результатам проведенных мероприятий можно констатировать абсолютную неэффективность данного способа в масштабах жилых помещений. Адсорбируемое на кристаллах хлористого кальция количество влаги не способно существенно влиять на влагосодержание воздуха.

В каждом из случаев влажность была менее 100 % (состояние насыщенного пара), что исключает конденсацию воды из воздуха вследствие нестабильного термодинамического состояния системы. Даже при влажности 40 %, наблюдалось увлажнение стекловаты и стеклопакетов, особенно привлекает внимание локальный характер данного явления.

Температура. Температура поверхности материалов имеет определяющее значение, так как наблюдаемый процесс увлажнения является по существу конденсацией паров воды из воздуха. Классические представления о конденсации связаны с понятием точки росы, т.е. температуры при которой на поверхности происходит фазовый переход воды из газообразного в жидкое состояние. Оценим фактическую температуру поверхностей ограждающих конструкций расчетным методом. Перепад температуры на поверхности определяется сопротивлением теплопередаче конструкции и температурой наружного и внутреннего воздуха. Температура внутренней поверхности определяется по формуле 1:

$$t_{\text{вп}} = t_{\text{в}} - \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R \cdot a_{\text{в}}} \quad (1)$$

где $t_{\text{в}}$ – температура воздуха внутри помещения, °C; $t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, °C; R – сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; $a_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности конструкции, для внешних стен равен $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, для окон равен $8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Сопротивление теплопередаче многослойной конструкции определяется по формуле:

$$R = \frac{1}{a_{\text{в}}} + \sum_i R_i + \frac{1}{a_{\text{н}}} \quad (2)$$

где R_i – сопротивление теплопередаче i -го слоя материала конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; $a_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности конструкции, для внешних стен и окон равен $23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (3)$$

где δ_i – толщина i -го слоя материала конструкции, м; λ_i – теплопроводность материала i -го слоя конструкции в расчетных условиях эксплуатации, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Таким образом для внешней стены, состоящей из колодцевой кладки из силикатного кирпича суммарной толщиной 250 мм, утеплителя из пенополи-

стирола суммарной толщиной 130 мм, цементно-песчаной штукатурки и мелкозернистого бетона суммарной толщиной 30 мм расчетное сопротивление теплопередаче составляет $3,4 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ (нормативное значение для данного региона не менее $2,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$). Расчетная температура внутренней поверхности стены при средней температуре наружного воздуха за анализируемый период -1°C (она же фигурирует на рис. 5) составляет $19,3^\circ\text{C}$. Точка росы же для температуры внутреннего воздуха 20°C и влажности 50 % равна $9,3^\circ\text{C}$. Аналогично для стеклопакета расчетная температура внутренней поверхности составит $13,8^\circ\text{C}$, точка росы же для температуры внутреннего воздуха на подоконнике 17°C и влажности 60 % равна $9,2^\circ\text{C}$. Для анализа результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Параметры микроклимата помещений

Конструктивный элемент	Температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$	Температура внутреннего воздуха, $^\circ\text{C}$	Сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$	расчетная температура внутренней поверхности, $^\circ\text{C}$	Относительная влажность воздуха, %	Температура точки росы, $^\circ\text{C}$
Внешняя стена	-1	20	3,4	19,3	50	9,3
Стеклопакет		17	0,7	13,8	60	9,2

Полученные данные показывают, что температура внутренних поверхностей значительно превышает точку росы. Более того, чтобы при данных условиях происходила конденсация воды, относительная влажность воздуха должна была бы составлять 90-95%, что не соответствует действительности.

Дополнительно было замечено, что если на окнах в ночное время не опускались жалюзи, то запотевание существенно снижалось. Это может обуславливаться сочетанием повышения подвижности воздуха в помещении и увеличения температуры внутреннего стекла за счет улучшения конвективных процессов. Появление плесени вследствие увлажнения стен также обнаружено в местах с затрудненной циркуляцией воздуха. В верхних углах помещений температура воздуха больше 20°C из-за поднятия теплых воздушных масс, а влажность предположительно меньше, из-за экспоненциального характера распределения частиц в воздухе. Внизу стен в непосредственной близости к радиаторам системы отопления, но практически постоянно закрытой портьерами.

Причиной ухудшения циркуляции воздуха является уменьшение температуры радиатора. Так, например, циркуляция атмосферы в земных масшта-

бах - это следствие разницы в нагреве воздуха между экваториальными и полярными районами земного шара. Аналогично, скорость движения воздуха в помещении – результат разности температур различных тел (механическое движение в данном случае не учитываем). В здании, которое исследовалось, применение механического побуждения циркуляции воздуха обеспечило полное просыхание материалов конструкций. Увеличение температуры воздуха и снижение влажности при этом не потребовалось. Минимальную скорость движения воздуха, обеспечивающую при данных значениях параметров микроклимата, удовлетворительное состояние ограждающих конструкций, можно назвать "критической". "Критическая скорость" не должна превышать допустимые нормы скорости движения воздуха в помещениях. Корректировка параметров микроклимата (температура, влажность) необходима лишь в случаях, когда "критическая скорость" ухудшает показатели комфорта пребывания человека.

Заключение

Классические представления о процессах увлажнения конструктивных элементов зданий связаны с адсорбцией влаги и ее конденсацией из воздуха. Это наблюдается при достижении системой состояния насыщения (влажность воздуха 100 %, конденсация происходит равномерно по всему объему) и при снижении температуры тела до точки росы. На примере данного жилого здания показано, что выше описанные факторы не являются исключительными: конденсация возможна при меньших относительных влажностях и температурах, превышающих точку росы.

Одним из факторов, влияющих на процессы конденсации, является скорость движения воздуха в помещении. В данном случае основная роль подвижности воздуха состоит не в конвективном теплопереносе, а в физическом движении водяных масс. Повышение скорости движения, вероятно, меняет характер взаимодействия молекул с поверхностью материала (частота соударений, длительность, энергия взаимодействия и т.п.). В момент такого взаимодействия процесс конденсации возможен даже при температурах поверхности выше точки росы. Адсорбционные качества материалов в данном случае, не имеют решающего значения, поскольку увлажнение материалов замечено как для абсолютно негигроскопичных материалов (стекло), так и активно поглощающих влагу (цементно-песчаная штукатурка, бумага).

Эффективным способом устранения конденсации является механическое побуждение движения воздушных масс. Например, использование вентиляторов на низких оборотах будет эффективным и менее ресурсоемким, чем рекуператоров, требующих расхода энергии на подогрев подаваемого внешнего воздуха. Регуляция влажности строительных материалов может быть обеспечена при определенной "критической" скорости движения воздуха в помещении. Работы большинства авторов в этой области направлены на анализ процессов диффузии влаги в газообразной форме через ограждающие конструкции, адсорбции влаги материалом и ее динамического равновесия, нестационарного влажностного режима ограждений. Анализ влияния по-

движности воздуха на процессы конденсации и формализация полученных результатов даст инструмент для направленного влияния на процессы увлажнения материалов. Например, возможен расчет скорости движения воздуха в помещении, как функции заданной влажности и температуры, при которой не будет происходить конденсация воды.

Очевидно, что описанная проблема непосредственно касается зданий с системами отопления, работающими по принципу теплопередачи, и не будет так ярко проявляться для систем конвективного переноса тепловой энергии.

Список литературы:

1. Шабанов Е.А. Прогноз радоновой опасности в кемеровской области / Е. А. Шабанов, Д. П. Кулик, С. М. Простов // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2019. № 3. С. 97-104.
2. Ельчищева, Т.Ф. Определение влажностного режима помещений зданий при наличии в стеновом материале гигроскопических солей // Строительные материалы. – 2017. – № 6. – С. 14–18.
3. Шабанов Е. А. Современные методы утепления фасадов зданий / Н. Ю. Рудковская, Е. А. Шабанов // Сборник научных трудов SWorld. 2011. Т. 30. № 1. С. 3-4.
4. Гилязидинова Н. В. Выбор способа отделки фасада / М. А. Демьянова, Н. В. Гилязидинова // Сборник материалов X всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая» 2018. С. 42802.1-42802.3.
5. Гагарин В.Г., Зубарев К.П. Применение теории потенциала влажности к моделированию нестационарного влажностного режима ограждений // Вестник МГСУ. – 2019. – № 4/14. С. 484-495.
6. Гагарин, В.Г., Пастушков П.П., Реутова Н.А. К вопросу о назначении расчётной влажности строительных материалов по изотерме сорбции // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 4. – С. 152–155.