УДК 728.2:699.86

О.В. Матехина, Ю.К. Осипов

Сибирский государственный индустриальный университет

ОБОБЩЕННАЯ ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ С ПОМОЩЬЮ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Отличительной особенностью климата России являются холодные и продолжительные зимы (почти на 40 % ее территории). Так, в районах, расположенных между 50-й и 60-й параллелями, средняя температура наиболее холодного месяца находится в интервале от −8 до −28 °С, а в Западной Европе от −4,5 до +2 °С, продолжительность отопительного периода составляет 200 − 250 и 100 − 180 дней соответственно. Поэтому в России топливно-энергетические затраты в несколько раз превышают аналогичные показатели Западной Европы.

Например, в Западной и Восточной Сибири среднегодовая температура воздуха составляет −0,1 °С, причем от 80 до 100 раз температура воздуха переходит через нуль с амплитудой до 30 °С, а расчетная температура зимнего периода колеблится от −35 до −39 °С. Например, отопительный период для Омска, Новосибирска, Томска, Красноярска и других городов 220 − 235 суток, а средняя температура периода со среднесуточной температурой воздуха менее +8 °С составляет от −7,2 до −9,3 °С. При таких климатических условиях количество градусосуток колеблется в пределах 6084 − 7105 в зависимости от назначения здания.

Вновь построенные здания в средней полосе России требуют на отопление 1 м^2 площади в среднем около 500 кВт·ч, в Германии − 250 кВт·ч, в Швеции и Финляндии 135 кВт·ч.

Потери тепла через стены зданий достигают 45 %, через окна и двери − 33 % от общих потерь, а потери тепла в индивидуальных жилищах в 4 раза выше, чем в квартирах многоэтажных домов.

Так как подавляющее количество жилых домов в России построено по старым теплотехническим нормам, проблема их дополнительного утепления приобретает решающее значение с точки зрения энергосбережения [1, 2]. Утепление стен технически решается с помощью дополнительной теплоизоляции.

Известно, что сопротивление теплопередаче, долговечность и эксплуатационная надежность ограждающих конструкций в значительной степени зависят от их влажности, т.е. подбор конструкций ограждений следует выполнять с учетом нормируемой влажности при заданных условиях эксплуатации.

Рассмотрим причины появления влаги в ограждающих конструкциях. Водяной пар – вода в газообразном состоянии – составная часть воздушной смеси в атмосфере. Внутри помещения он образуется вследствие испарения с поверхности животных, растений, тела человека и в результате его бытовой деятельности.

В зависимости от конкретной ситуации в каждой единице объема V воздуха находится всегда большее или меньшее количество G водяного пара, т.е. существует соотношение G/V, кг/м^3. Значение отношения G/V называют также абсолютной влажностью a, кг/м^3. Если отношение количества водяных паров к объему велико, то, соответственно, высока концентрация молекул воды. Движение молекул создает давление на все твердые тела, которые оказываются на их пути. Это давление называют давлением водяного пара P, Н/м^2. Водяной пар обладает при этом определенными особенностями, которые отличают его от идеального газа. Имеется определенная граница для максимально возможного содержания водяного пара в единице объема G/V, выше нее концентрация водяного пара не может быть увеличена. Если эта граница достигнута, говорят о насыщенном водяном паре. Давление, которое соответствует этому определенному содержанию водяного пара в единице объема, является давлением насыщения $P_н$, Н/м^2, водяного пара (или упругостью водяного пара), которое зависит от температуры. Если температура среды, в которой находится водяной пар, повышается, то возрастает и давление насыщения, а, следовательно, и максимально возможное количество водяного пара в единице объема. С понижени-

ем температуры уменьшается концентрация водяного пара.

На эту температурную зависимость давления насыщения водяного пара не оказывают влияния другие газы, пары или твердые вещества, в которых находится водяной пар. О том, что влечет за собой эта температурная зависимость давления насыщения, говорят следующие соображения:

– в определенной системе (например, наружном воздухе) при определенной температуре t_1 имеется столько водяных паров в единице объема G_1/V, сколько необходимо для достижения давления насыщения;

– если исходная температура t_1 повышается до более высокой t_2 и нет дальнейшего поступления водяных паров, то водяной пар не является насыщенным, хотя количество водяных паров в единице объема G_1/V остается постоянным и давление пара прежним (соответствует давлению насыщения $P_2 = P_{н1}$), пар перешел в насыщенное состояние (концентрация водяных паров G_1/V могла бы повышаться дальше до тех пор, пока не было бы достигнуто большее, соответствующее более высокой температуре t_2, давление насыщения пара $P_{н2}$);

– при понижении температуры от t_1 до t_3 давление насыщения снизилось от $P_{н1}$ до $P_{н3}$, соответственно уменьшилась максимально возможная концентрация водяных паров (от G_1/V до G_3/V); так как концентрация G_3 должна быть меньше G_1, при понижении температуры в единице объема образуется избыточное количество водяных паров, которые должны превратиться в воду, поэтому такое вынужденное превращение в жидкость ненасыщенного или еще находящегося в газообразном состоянии насыщенного водяного пара называют конденсацией или образованием конденсата, т.е. влаги.

При проектировании наружной ограждающей конструкции слои должны быть расположены с уменьшением их пароизолирующей и увеличением теплоизолирующей способности в направлении изнутри наружу. Это не всегда возможно и требует различных изысканий и исследований конструкций наружных стен и покрытий. Повреждения наружных стен из-за образования конденсата в поперечном сечении редки. Определяемое примерным расчетом количество конденсата, выпадающего в зимнее время, и расчетное количество выпадающей летом влаги сопоставимы.

Если это условие не выполняется, следует дополнительно ввести с внутренней стороны стены пароизоляцию или изменить расположение слоев (снаружи – усиленную теплоизоляцию, изнутри – повышенную пароизоляцию) и вновь проверить количество выпадающей и высыхающей влаги.

Чаще возникают повреждения при однослойной невентилируемой теплой кровле из-за высокой паропроницаемости оболочки покрытия. Здесь также следует рассчитывать и сопоставлять количество конденсирующейся влаги, которая выпадает в зимнее время, и количество влаги, высыхающей в летний период. Максимально допустимое количество конденсирующейся влаги составляет 10 – 12 г/м^2.

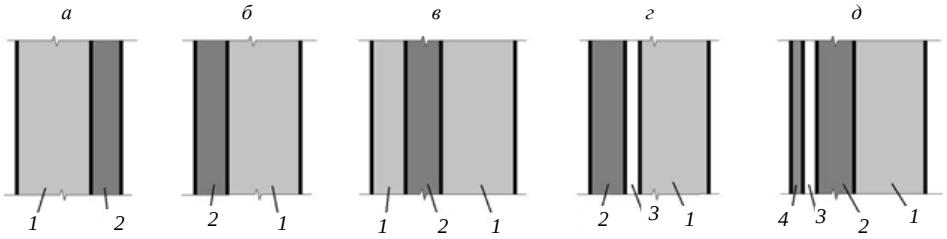
Следует исключить образование конденсата на всех внутренних поверхностях наружных конструкций, кроме плоскости остекления окон. При соблюдении минимальной теплозащиты образование конденсата на поверхности предотвращается при относительной влажности воздуха примерно до 65 %, при более высоких значениях теплозащиту следует повышать.

Предотвращение образования конденсата на поверхности внутренних углов наружных конструкций выполнить сложнее, так как их теплоизолирующая способность должна быть почти втрое больше, чем на плоскости стены. Это требование выполняется также путем соответствующего повышения теплозащиты. Если это не достигается, следует рассчитать усиление теплозащиты с учетом максимальной относительной влажности воздуха и температуры на поверхности внутренних углов наружных конструкций.

Рассматривая вероятность выпадения конденсата в толще конструкции с точки зрения процесса диффузии, наиболее рациональна такая последовательность слоев, при которой сопротивление теплопередаче уменьшается, сопротивление паропроницанию возрастает снаружи внутрь. Нарушение этого положения свидетельствует о возможности выпадения конденсата в сечении конструкций. Исследования показали, что повреждения в сечении стен от конденсата встречаются крайне редко, поскольку строительные материалы, обычно применяемые при устройстве стен, имеют достаточную паропроницаемость. Влага в толще стены может только тогда приводить к повреждениям, когда стена подвергается совместному воздействию сильного дождя и порывистого ветра.

При возведении стен отапливаемых зданий и их реконструкции возможны следующие схемы утепления или повышения теплоизолирующих свойств стен [3]: устройство тепловой защиты с внутренней стороны стены, с наружной стороны, внутри стены и дополнительно

организация воздушной полости по сечению стены (см. рисунок).



Принципиально возможные схемы устройства теплоизоляционного слоя в конструкции стены:
а – с внутренней стороны стены; *б* – с наружной стороны; *в* – внутри стены; *г, д* – совмещение теплоизоляционного материала и воздушной полости; *1* – стена, *2* – утеплитель, *3* – воздушная полость, *4* – облицовка

При установке на стене теплоизоляционного слоя с внутренней стороны стены происходит изменение ее влажностного режима. Теплоизоляционный материал имеет значительно меньшую величину средней плотности, обладает высокой пористостью и низкой теплопроводностью (по сравнению с материалом конструктивного слоя), свободно пропускает водяной пар, что приводит к скапливанию влаги в толще стены на границе с утеплителем. Помимо этого, теплоизоляция задерживает поступление теплоты из помещения в ограждение, вызывая понижение температуры внутри стены, в результате повышается ее влажность при одновременном понижении ее температуры, что способствует образованию конденсата на небольшой глубине от внутренней поверхности (т.е. в утепляющем слое, что значительно снижает его теплостойкость).

При расположении теплоизоляционного слоя с наружной стороны стена становится более теплоустойчивой. Паропроницаемый утеплитель не дает скапливаться влаге, обеспечивая естественную просушку ограждения. Благодаря расположению изоляции снаружи ограждения стена аккумулирует теплоту, так как утеплитель задерживает ее в ограждении, изолируя от холодного наружного воздуха и повышая температуру в толще стены.

Преимуществом наружной теплоизоляции является возрастание теплоаккумулирующей способности стены. При наружной теплоизоляции кирпичных стен они при отключении источника тепла остывают в 6 раз медленнее стен с внутренней теплоизоляцией при одной и той же толщине слоя утеплителя. При устройстве пароизоляции на внутренней поверхности стены и утеплителя с защитным слоем на наружной поверхности теплозащитные характеристики ограждения значительно увеличиваются.

При устройстве теплоизоляционного слоя внутри стены обеспечиваются требуемая теплозащита и несущая способность стены, но при этом требуется двухсторонняя пароизоляция теплоизоляционного материала или устройство воздушной прослойки с наружной стороны теплоизолятора.

Организация замкнутой воздушной прослойки в конструкции стены позволяет повысить теплозащиту. Если воздушная прослойка располагается близко от внутренней поверхности, то происходит отрицательное для стены изменение температурно-влажностного режима, т.е. явление, во многом аналогичное тому, с чем приходится сталкиваться при утеплении стен изнутри. Устройство с внутренней стороны пароизоляции препятствует проникании в воздушную прослойку водяных паров внутреннего воздуха и повышает теплозащиту стены. Поэтому целесообразно располагать воздушную прослойку ближе к наружной поверхности стены. Благодаря такому расположению заполненная воздухом прослойка значительно повышает теплотехнические качества ограждения. Устройство пароизоляции с внутренней поверхности стены при наличии прослойки позволяет не допускать увлажнения конструкции изнутри и существенно повысить ее теплозащиту. Установка пароизоляции одновременно с внутренней и наружной сторон стены препятствует высыханию материала конструкции и способствует скапливанию влаги в толще ограждения [4].

Наружные ограждающие конструкции зданий условно состоят из трех элементов: стен, светопрозрачных конструкций и покрытий. Со стенами при новом строительстве все обстоит более или менее в порядке. Более сложно обстоит дело со стенами при реконструкции существующего жилого фонда, о чем уже упоминалось ранее. Разнообразные способы утепления фасадов существующих зданий требуют больших затрат. Логично было бы все же усиливать теплозащиту тех элементов, через которые происходят наибольшие теплопотери и стоимость которых относительно ниже стоимости других. При оценке энергосбережения здания необходимо комплексно подходить к

взаимодействию всех факторов влияния совокупности наружных ограждающих конструкций [4], позволяя при необходимости ослабить теплозащиту одного из элементов ограждения за счет усиления другого.

Если рассматривать место новых окон в экономии энергозатрат, то простая замена окон (при условии обеспечения нормативной инфильтрации) без утепления наружных стен дает существенную экономию расхода тепла и улучшает тепловой комфорт в помещениях, т.е. затраты на замену окон значительно ниже стоимости дополнительной теплозащиты фасадов. Принимая решения о замене старых окон в реконструируемых зданиях на современные оконные конструкции, необходимо знать их отличия от устаревших типов, их преимущества и недостатки. Применение современных оконных конструкций дает:

– возможность удержать тепло в помещении, что предполагает повышение сопротивления теплопередаче оконного ограждения;

– изоляцию помещений от внешнего шума, уличной пыли и сквозняков.

Применение герметичных стеклопакетов и соответственно герметичной установки окон в проем резко уменьшает воздухообмен в помещении жилья. Кроме того, возникли ранее неизвестные проблемы. Во-первых, узкие одинарные переплеты, хотя сами и не промерзают, создают неблагоприятную ситуацию на откосах проемов. В случае выбора оконного блока с высоким сопротивлением теплопередаче, но с узкой оконной коробкой стена по периметру окна теряет значительно больше тепла, чем экономит новая конструкция окна. Во-вторых, более плотная заделка проемов резко и неблагоприятно изменила температурно-влажностный режим помещений. Вместе с удержанным теплом в помещении осталась и вся влага.

Помимо негативного влияния на микроклимат и комфорт в помещении, резкое уменьшение воздухопропускания вызывает конденсацию избыточной влаги на холодных поверхностях стеклопакетов и откосов по периметру оконных проемов. В результате стеклопакеты запотевают, а откосы покрываются плесенью. Следует подчеркнуть, что все вышесказанное относится к новым окнам из всех известных материалов. Чтобы избежать этих неприятных явлений, важно в условиях плотной заделки избежать намокания стены в зоне шва, вызывающего образование плесени. Эта задача решается устройством пароизоляции изнутри помещения. Главный принцип заделки швов сформулирован очень кратко – внутри плотнее, чем снаружи. Это означает, что внутренний барьер – пароизоляция – должен быть непроницаем для газов. Зато через внешнюю защиту водяные пары должны проникать свободно, а дождь – нет, иначе стена в зоне шва промокнет.

Если представить самые распространенные типы стен реконструируемых зданий, способы их утепления и облицовки, то можно вполне достоверно определить наиболее рациональную область применения тех или иных конструкций окон. Краткие рекомендации при установке новых окон в проемы реконструируемых зданий следующие:

– при заделке шва необходимо учитывать температурные деформации каркаса здания и тепловые изменения размеров коробок в зависимости от времени года и материала переплета; размеры отступа оконных коробок от поверхностей проемов должны находиться в пределах от 10 до 20 мм;

– со стороны улицы необходимо наклеить предварительно сжатую уплотнительную саморасширяющуюся ленту, которая пропускает воздух, но хорошо защищает от дождя; заделка шва со стороны улицы цементно-песчаным раствором, строительной мастикой или силиконом тоже защищает от дождя, но без гарантии при проникновении воды в щель;

– со стороны помещения необходимо устроить пароизоляцию в виде непрерывного контура, для чего лучше всего использовать специальные самоклеящиеся ленты: каучуковые или алюминиевые; возможна пароизоляция с помощью слоя мастики или силикона толщиной не менее 6 мм; если не выполнить эти требования, то пенный утеплитель под воздействием дождя через короткое время просто рассыплется, а через неплотный шов будет задувать ветер и проникать уличный шум;

– выбор толщины коробки нового окна зависит от конструкции стены: в трехслойных панелях толщина коробки должна быть не менее 120 – 130 мм, иначе возникают проблемы с промерзанием стены вокруг узкой коробки окна.

Все вышесказанное в равной мере относится и к классическим стенам из сплошного кирпича, и к другим стенам из мелкоштучных элементов с железобетонными перемычками наверху проемов.

Ниже представлен алгоритм проектирования тепловой защиты ограждающих конструкций жилых зданий.

1. Приведенное сопротивление теплопередаче R_o, м^2·°С/Вт, ограждающих конструкций,

а также окон и фонарей (с вертикальным остеклением или с углом наклона более 45°) следует принимать не менее нормируемых значений R_{reg}, м^2·°С/Вт, определяемых по СНиП [5] в зависимости от градусо-суток района строительства, D_d, °С·сут, которые для отопительного периода вычисляют по формуле $D_d = (t_{int} - t_{ht})z_{ht}$ [6, стр. 57].

2. Необходимо проверить соответствие приведенного сопротивления конструкции нормируемому значению:

а) для расчета термического сопротивления необходимо определить условия эксплуатации конструкции в зависимости от влажностного режима помещений и зоны влажности района строительства и установить расчетные применяемые теплотехнические показатели строительных материалов; в зависимости от географического положения пункта строительства определяются зона влажности (влажная, нормальная, сухая), затем влажностный режим помещения, далее по совокупности этих параметров устанавливаются условия эксплуатации конструкции *А* или *Б* для выбора расчетного коэффициента теплопроводности λ материала слоев конструкции;

б) по формуле $R = \frac{dx}{\lambda}$ [6, стр. 50] (термическое сопротивление слоя dx) с учетом толщин слоев определяется термическое сопротивление каждого слоя и затем по формуле $R_o = R_{se} + R_k + R_{si}$ [6, стр. 50] находится общее термическое сопротивление конструкции с учетом коэффициентов теплоотдачи внутренней и внешней поверхностей ограждающей конструкции; на поверхности конструкции, обращенной в сторону вентилируемой наружным воздухом прослойки, следует принимать коэффициент теплоотдачи α_{ext} = 10,8 Вт/(м^2·°С).

Значения термических сопротивлений воздушных прослоек принимаются по СНиП [5] с учетом толщины прослойки.

3. В соответствии с требованиями СНиП [5] наружные ограждающие конструкции зданий должны удовлетворять нормируемому сопротивлению теплопередаче R_{reg} для однородных конструкций наружного ограждения – по параметру R_o, для неоднородных конструкций – по приведенному сопротивлению теплопередаче R_o^r, при этом должно соблюдаться условие R_o (или R_o^r) $\geq R_{reg}$.

Приведенное сопротивление теплопередаче R_o^r, м^2·°С/Вт, для наружных стен следует определять для всего фасада здания либо для одного промежуточного этажа, однако этот расчет достаточно сложен, так как требует учета всех изменений фасада здания и всех теплопроводных включений ограждения. В связи с этим можно принимать коэффициент теплотехнической однородности r с учетом теплотехнических однородностей оконных откосов и примыкающих внутренних ограждений проектируемой конструкции для панелей индустриального изготовления не менее значений, установленных СНиП [5, 7]: для стен жилых зданий из кирпича – не менее 0,74 при толщине стены 510 мм, 0,69 – при толщине стены 640 мм и 0,64 – при толщине стены 780 мм.

Соответственно приведенное сопротивление теплопередаче неоднородной конструкции можно определять по формуле $R_o^r = R_o r$ [6, стр. 59].

4. Наружные ограждающие конструкции должны удовлетворять расчетному температурному перепаду Δt_0 между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, определяемому по формуле $\Delta t_0 = \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{R_o^r \alpha_{int}}$ [6, стр. 59], при этом расчетный температурный перепад не должен превышать нормируемых величин Δt_n, установленных СНиП [5].

Выводы. Необходимо более широкое использование однослойных стеновых изделий (с учетом теплотехнических требований), так как это значительно упрощает технологию утепления; следует избегать при наружном утеплении образования вертикальной воздушной полости, так как это способствует быстрому распространению огня при пожаре; в реконструируемых зданиях старой постройки более целесообразно уменьшение теплопотерь путем замены старых окон на современные оконные конструкции с обязательным недопущением нарушения температурно-влажностного режима на границе оконного откоса и собственно конструкции окна, в противном случае простая замена окон может не дать должного теплозащитного эффекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Осипов Ю.К. Реконструкция и реабилитация жилого фонда, учет тепловой энергии – способы достижения энергосберегающего эффекта. – В кн.: Новая техника и технология: Сб. научных трудов. – Новосибирск: Наука, 2004. С. 434 – 444.
2. Осипов Ю.К., Журавков Ю.М., Матехина О.В., Благиных Е.А. Реконструкция и модернизация жилых

зданий. – Новокузнецк: Изд. РААСН, СибГИУ, 2002. – 109 с.

3. З а в а д с к и й В.Ф. Варианты стеновых конструкций с применением эффективных утеплителей: Учебное пособие. – Новосибирск: изд. НГАСУ, 2001. – 52 с.

4. З а в а д с к и й В.Ф. Комплексный подход к решению проблемы теплозащиты стен отапливаемых зданий // Строительные материалы. 1999. № 2. С. 7, 8.

5. СНиП 23.02.2003. Тепловая защита зданий.

6. О с и п о в Ю.К., М а т е х и н а О.В. Архитектурно-типологические основы проектирования жилых зданий: Учебное пособие. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2013. – 253 с.

7. СП 23.101.2004. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование тепловой защиты зданий.

© 2015 г. О.В. Матехина, Ю.К. Осипов

Поступила 2 декабря 2014 г.