

О КАЧЕСТВЕ НОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ

ПЕРЕХОЖЕНЦЕВ А.Г.¹, ВОЙТОВИЧ Е.В.²

¹Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

²Научно-исследовательского института строительной физики РААСН, г. Москва, Россия

***Аннотация.** Рассмотрена актуальная проблема качества нормативной документации по теплозащите зданий, от которой зависит не только качество тепловой защиты проектируемых зданий, но и обеспечение благоприятных санитарно-гигиенических условий в помещениях, а также надежность и себестоимость ограждающих конструкций. Приводится критический анализ действующих нормативных документов по теплозащите зданий на соответствие требованиям «Технического регламента по безопасности зданий и сооружений» (ФЗ 384)– создание теплового комфорта в помещениях и обеспечение конструктивной надёжности наружных ограждающих конструкций в холодный период года. Отмечается, что в действующих нормативных документах по теплозащите зданий неверно определена основная цель теплозащиты зданий... как обеспечение заданного уровня расхода тепловой энергии. Критически проанализированы основные разделы действующих нормативных документов и предложены методики нормирования теплофизических параметров наружных ограждений зданий, в которых приоритетными являются вопросы энергосбережения и обеспечение теплового комфорта в помещениях, основным критерием которого является, установленная гигиенистами разность между температурой воздуха в помещении и температурой внутренней поверхности наружного ограждения. Предложена простая и надежная методика нормирования сопротивления паропроницаемости конструкции, обеспечивающая не накопление влаги в конструкциях в холодный период года. Предложена методика комплексного расчета тепло- и пароизоляционных слоев многослойных ограждающих конструкций, теплофизические свойства которых отвечают нормативным требованиям*

***Ключевые слова:** нормирование сопротивлений теплопередаче и паропроницаемости, тепловой комфорт в помещении, комплексный расчет на тепло и паропроницаемость наружных ограждений зданий, энергосбережение*

QUALITY OF REGULATION OF THERMAL PROTECTION OF BUILDINGS

PEREKHOZHENCEV A.G.¹, VOITOVICH E.V.²

¹Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia,

²Research Institute of Building Physics of the RAACS, Moscow, Russia,

***Abstract.** Considered relevant the problem of quality regulatory documentation for thermal protection of buildings, not only depends on the quality of the thermal protection designed buildings but also ensuring favourable hygienic conditions in the premises, as well as reliability and cost of enclosing structures. Provides a critical analysis of existing regulations on heat-shielding of buildings for compliance with the requirements of "technical regulations on safety of buildings and constructions (FZ 384)– creation of thermal comfort indoors and ensure constructive reliability of external walling during the cold period of the year. It is noted that the existing regulations on heat shielding buildings incorrectly defined the main objective of the thermal insulation of buildings. How to ensure a given level of heat energy consumption. Critically analyzed the main sections of the existing regulations and proposed methods of Thermo-physical parameters of rationing of exterior fencing of buildings in which priority is energy conservation and ensuring thermal comfort in rooms, the main criterion which is established by specialists the difference between the room temperature and the temperature of the inner surface of the outer fence. Offered a simple and reliable technique for regulation of water resistance design that provides no moisture accumulation in constructions during the cold period of the year. The technique of integrated calcu-*

lation of heat and vapor barrier layers of multilayer enclosing structures, Thermo-physical properties which meet regulatory requirements

Keywords: *rationing of water and heat resistance, thermal comfort indoors, comprehensive calculation for heat and water vapor permeability of exterior fencing of buildings, energy saving*

Введение

Для проектирования наружной теплозащитной оболочки здания в настоящее время на территории России разработаны и действуют следующие нормативные документы: СП 50-13330-2012 «Тепловая защита зданий» (далее СП-50) и СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты зданий» (СП-345).

Основная целевая задача этих документов сформулирована следующим образом в определении понятия тепловая защита здания: «Теплозащитные свойства совокупности наружных и внутренних ограждающих конструкций зданий, обеспечивающие заданный уровень расхода тепловой энергии (теплопоступлений) здания...» (см. СП-50 «термины и определения»).

Поиску этого загадочного заданного уровня расхода тепловой энергии с помощью базовых, целевых, оптимизированных и гармонизированных нормативных сопротивлений теплопередаче, которые должны определять теплозащитные свойства совокупности наружных и внутренних ограждающих конструкций зданий, посвящены перечисленные выше нормативные документы.

Между тем в «Техническом регламенте по безопасности зданий и сооружений» (ФЗ №384, статья 29), прямо сказано, что нормируемое сопротивление теплопередаче наружных ограждений зданий должно быть таким, чтобы разность между температурой воздуха в помещении и температурой внутренней поверхности наружного ограждения обеспечивало в помещении благоприятные санитарно-гигиенические условия, то есть условия теплового комфорта, установленного санитарно-гигиеническими нормами [3]. Однако, в СП 50 и СП 345 таких требований к теплозащите зданий (п. 5.1 а, б, в) нет.

Обеспечение благоприятных температурных условий для человека в помещении это жизненно важное требование. Поэтому основным определяющим фактором при нормировании требуемого сопротивления теплопередаче наружных ограждений зданий, должна быть температура на их внутренних поверхностях, которая обеспечит не только санитарно-гигиенические, но и благоприятные (комфортные) температурные условия в помещении. К сожалению, в перечисленных выше нормативных документах упоминаний о тепловом комфорте в помещениях нет.

Критический анализ СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» и предложения по совершенствованию норм

В этом нормативном документе много неточностей, вводятся ничем не обоснованные подгоночные коэффициенты (например, m_p и b при определении требуемого сопротивления теплопередаче). Введено, кроме нормативного, множество критериев оценки теплозащиты, таких как базовое, целевое, оптимальное, гармонизированное и т.п. сопротивления теплопередаче. Оценка уровня энергосбережения принята по проценту отклонения расчетной удельной характеристики на отопление и вентиляцию от нормативной (какой же это норматив, при котором расчетное значение может на 50% не соответствовать нормативному?), при этом процент отклонения определяет классность здания. Вместо проверки температуры на внутренней поверхности ограждения в теплый период года на соответствие требованиям ГОСТ 30494-2011 [3], рассчитывается амплитуда колебаний температуры, которая не нормируется гигиенистами. В разделе 8-«защита от переувлажнения конструкций» расчет выполняется в годовом цикле, поэтому нет гарантии, что переувлажнение конструкций произойдет в холодный период года. Именно в холодный период года важно убрать отрицательное влияние влажности как на теплозащитные свойства наружных ограждающих конструкций, так и на их долговечность.

Для определения нормируемого сопротивления теплопередаче в СП-50 введено понятие «базового» значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции R_o^{mp} , которое принимают по табл. 3 или по формуле (1), представленной в примечании к данной таблице в следующем виде:

$$R_o^{mp} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (1)$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут/год (почему-то продолжительность отопительного периода приводится в «сут в год» (?), тогда как, как в нормах она приведена в «сутках»);

a, b – коэффициенты, значения которых принимают по таблице 3.

Нормируемое сопротивление теплопередаче в СП-50 предлагается получать путем умножения «базового» сопротивления теплопередаче на некоторый подгоночный коэффициент m_p , который должен уменьшать полученное базовое сопротивление не менее чем: на 0,63- для стен, на 0,95- для светопрозрачных конструкций и на 0,8- для всех остальных. Каким образом получены эти значения и почему они уменьшают «базовое» сопротивление, хотя по логике энергосбережения должны увеличивать его?

Значения «базового» требуемого сопротивления теплопередаче также не корректно определяется по уравнению (1). Ошибка СП-50 заключается в том, что в правой части уравнения (1) к сопротивлению теплопередаче прибавляется некоторый коэффициент b , хотя любому инженеру должно быть известно, что: во-первых, если с левой стороны уравнения стоит сопротивление теплопередаче, то с правой стороны уравнения оба слагаемых тоже должны быть сопротивлениями, во-вторых, «коэффициенты» не могут быть слагаемыми. Уравнение (1) представляет собой уравнение прямой с начальным участком равным b , поэтому физический смысл «коэффициента b » - это минимально допустимое сопротивление теплопередаче при ГСОП=0, обеспечивающее минимальные санитарно-гигиенические условия в помещении, определяемое по известной формуле 5.4 СП-50, при минимально допустимом нормируемом перепаде температур $\Delta t^H = (t_e - \tau_p)$, то есть по формуле

$$R_o^{мин} = \frac{n \cdot (t_e - t_n)}{(t_e - \tau_p) \cdot \alpha_e}, \quad (2)$$

где $(t_e - \tau_p)$ - разность между температурой воздуха помещения и температурой точки росы.

Следовательно, нормируемое сопротивление теплопередаче определяется суммой минимально допустимого сопротивления $R_o^{мин}$, обеспечивающим минимальные санитарно-гигиенические условия и дополнительного энергосберегающего сопротивления $R_o^э$, обеспечивающего тепловой комфорт в помещении, то есть

$$R_o^{mp} = R_o^{мин} + R_o^э. \quad (3)$$

Сопротивление теплопередаче $R_o^э$ является критерием, определяющим энергосбережение, так как ограничивает значение сопротивления теплопередаче обеспечением теплового комфорта в помещении, поэтому является «оптимизирующим и гармонизирующим» фактором.

Таким образом, нормируемое сопротивление теплопередаче не прозрачных участков наружных ограждающих конструкций без каких-либо поправочных коэффициентов следует определять по формуле, представленной в работе [4]

$$R_o^{mp} = \frac{n \cdot (t_e - t_n)}{(t_e - \tau_p) \cdot \alpha_e} + k_{эH} \cdot (t_b - t_{оп}) \cdot z_{оп} \cdot 10^{-4}, \quad (4)$$

где $k_{эн}$ – нормируемые коэффициенты энергосбережения (соответствуют коэффициентам $a \cdot 10^4$ м²/Вт сут табл. 3 СП 50.13330. 2012).

Для светопрозрачных конструкций остекления в формуле (4) вместо температуры точки росы τ_p принимают допустимую температуру на поверхности стекла равную $\tau_o = 3$ °С т.е. требуемое сопротивление таких конструкций определяют по формуле

$$R_o^{mp} = \frac{n \cdot (t_e - t_n)}{(t_e - \tau_o) \cdot \alpha_e} + k_{эн} \cdot (t_b - t_{оп}) \cdot z_{оп} \cdot 10^{-4}. \quad (5)$$

Расчёт нормируемого сопротивления теплопередаче по предлагаемым формулам (4,5) учитывает, как внешние климатические факторы, так и требуемые параметры микроклимата, при этом обеспечивается комфортная температура на внутренней поверхности наружных ограждений, которая является энергосберегающим фактором, так как ограничивает расчетное значение сопротивления теплопередаче.

Удельная теплозащитная характеристика здания

Понятие «удельная» величина предполагает, что данная величина соотнесена к какой-либо другой величине, например, к объёму, к массе тела и т.п. Удельная теплозащитная характеристика здания, в нашем случае, отнесена к объёму здания, которую предлагается получать через произведение коэффициента компактности на приведенный (общий) коэффициент теплопередаче здания.

В результате получаем сумму отношений площади отдельных элементов наружной оболочки к соответствующему сопротивлению теплопередаче этого элемента, отнесенную к отапливаемому объёму здания. Так как сопротивления теплопередаче отдельных конструктивных элементов должны отвечать требованиям условий (4,5), то и удельная величина должна соответствовать этим требованиям. Поэтому для всего здания должно выполняться следующее условие, обеспечивающее тепловой комфорт в помещениях

$$k_{об}^{тр} = \frac{1}{V} \left(\sum \frac{A_n}{R_n^{тр}} + \sum \frac{A_o}{R_o^{тр}} \right), \quad (6)$$

где $\sum \frac{A_n}{R_n^{тр}}$ – сумма отношений площади непрозрачных участков ограждающих конструкций к их требуемому сопротивлению теплопередаче; $\sum \frac{A_o}{R_o^{тр}}$ – то же, для светопрозрачных участков (окон); V – отапливаемый объём здания. При выполнении условия (6) вся защитная оболочка здания будет отвечать требованиям теплозащиты. Поэтому выдумывать какие-либо ещё требуемые значения подгоночного типа вроде $k_{об}^{тр} = 8,5/\sqrt{ГСОП}$, приведенные в СП-50, которые никак не соотносятся с обеспечением теплового комфорта в помещениях нет необходимости.

Расчёт на перегрев в теплый период года

Теплоустойчивость ограждающих конструкций, так называется 6-й раздел СП-50, в котором нормируется амплитуда колебания температуры внутренней поверхности наружных ограждений зданий. О какой теплоустойчивости ограждающих конструкций может идти речь при открытых окнах и форточках в летний период года. Проблема теплоустойчивости наружных ограждений зданий скорее всего важна в осенний и весенний периоды года, когда имеют место значительные колебания температуры наружного воздуха, которые влияют на теплоустойчивость ограждений. Однако эта проблема в СП не рассматривается.

В теплый период года в южных регионах страны нагрев конструкций за счёт солнечной радиации настолько велик, что приводит к перегреву внутренних поверхностей конструкций и соответственно к недопустимым по санитарным нормам температурам воздуха в помещении [5-7, 8]. Поэтому следует нормировать температуру внутренней поверхности наружных

ограждений зданий, которая влияет на величину результирующей температуры воздуха в помещении, а, следовательно, и на тепловой комфорт в помещении.

Комфортной в теплый период года считается температура внутренней поверхности ограждения, если она не превышает температуру воздуха помещения более чем на 2,5 °С. Поэтому в районах со среднемесячной температурой июля 21 °С и выше температура внутренней поверхности ограждающих конструкций $\tau_n^л$, исходя из комфортных условий, для жилых зданий, больничных учреждений, амбулаторно-поликлинических учреждений, родильных домов, домов ребенка, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских садов, яслей, яслей-садов и детских домов не должна быть выше допустимой, определяемой по формуле

$$\tau_n^{пр} = t_n^л + [2,5 - 0,1 \cdot (t_n^л - 21)] , \quad (7)$$

где $t_n^л$ - расчётная температура внутреннего воздуха в теплый период года, °С, принимаемая согласно ГОСТ 30494-2011.

Расчётную температуру внутренней поверхности ограждающих конструкций в теплый период года, $\tau_n^л$, °С, следует определять по формуле

$$\tau_n^л = t_n^л + \frac{(t_n^{расч} - t_n^л)}{R_o^{пр} \cdot \alpha_n} , \quad (8)$$

где $t_n^{расч}$ - расчетная температура наружного воздуха в теплый период года, учитывающая влияние солнечной радиации, определяется по формуле [10]

$$t_n^{расч} = t_n^л + 0,5 \cdot A_{тн} + \frac{\rho(I_{max} - I_{cp})}{\alpha_n^л} , \quad (9)$$

где $t_n^л$ – средняя месячная температура наружного воздуха за июль;

$A_{тн}$ - максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле;

ρ - коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждения;

Расчётная температура внутренней поверхности ограждающей конструкции не должна превышать температуру, определенную по формуле (7).

Воздухопроницаемость ограждающих конструкций

Воздухопроницаемость ограждающих конструкций в СП-50 рассмотрена с точки зрения кратности воздухообмена в помещении. Влияние инфильтрации воздуха в холодный период года на температуру внутренней поверхности ограждения в СП-50 не рассматривается. Методика расчёта температуры, приведенная в п.7.3. СП- 345 пригодна лишь для однородных однослойных конструкций [4]. Распределение температуры в многослойной конструкции с учётом инфильтрации холодного воздуха через конструкцию при условии стационарного теплового потока, можно определить по формуле, предложенной в [9]:

$$\tau_i = \frac{t_n - (R_n + \sum R_i) \cdot [(t_n - t_n) / R_o - c \cdot W_{n-i} \cdot \tau_n]}{1 + c \cdot W_{n-i} \cdot (R_n + \sum R_i)} , \quad (10)$$

где R_n – сопротивление теплоотдаче внутренней поверхности ограждения; $\sum R_i$ – сумма термических сопротивлений слоев конструкции от внутренней поверхности до слоя i ; c – удельная теплоемкость воздуха; R_o – сопротивление теплопередаче конструкции; W_{n-i} – удельный расход воздуха инфильтрующегося через часть ограждения от наружной поверхности до сечения i , определяемого по формуле

$$W_{n-i} = \Delta p / \sum R_{inf(n-i)} , \quad (11)$$

где $\Sigma R_{inf(n-i)}$ – сумма сопротивлений воздухопроницанию слоев части ограждения от наружной поверхности до сечения i . Δp – перепад давления между наружной и внутренней поверхностями ограждения, складывающийся из так называемых теплового и ветрового напоров, определяемого по известной формуле [10]

$$\Delta p = \Delta p_t + \Delta p_v = 0,55 \cdot H_{зд} \cdot (\gamma_n - \gamma_v) + 0,03 \cdot \gamma_n \cdot v^2,$$

где $H_{зд}$ – высота здания; γ_n и γ_v – соответственно, объемные массы наружного и внутреннего воздуха; v – расчетная скорость воздуха, принимаемая равной максимальной из средних скоростей ветра за январь с повторяемостью более 16%.

Защита от переувлажнения ограждающих конструкций

Защита от переувлажнения наружных ограждений зданий имеет две целевых задачи: - уменьшение теплотерь в холодный период года вследствие увлажнения конструкции и не допущение термической конденсации влаги в зоне резких колебаний температуры, чтобы не допустить разрушение материалов конструкции вследствие попеременного замерзания и оттаивания влаги. Следовательно, основные влажностные факторы, влияющие на теплозащитные свойства наружных ограждений, происходят в холодный период года.

СП-50 рассматривает увлажнение конструкций в годовом цикле. В теплый период года влияние влажности на теплозащиту зданий или на процессы замерзания и оттаивания, по всей видимости, не актуально. Кроме того, в СП-50 не совсем корректно определяется расчетная температура холодного периода года, так как, за расчетную температуру принята средняя температура наружного воздуха с отрицательными среднемесячными температурами, которая включает отрицательные температуры переходного периода. Более точно характеристика холодного периода представлена в СП-131 «Строительная климатология» [11] определяемая по столбцу.6 табл.3.1 с вероятностью 0,94. Так для Москвы эта температура равна -13°C , вместо $-4,58^{\circ}\text{C}$. Следовательно, при расчетах влажностного состояния ограждающих конструкций за расчетную следует принимать температуру холодного периода года с вероятностью 0,94 по СП-131.

В СП-50 предлагается сопротивление паропроницанию, от внутренней поверхности ограждения до плоскости «максимального увлажнения» за годовой период эксплуатации, определяемой в соответствии с п. 8.5, сравнивать с требуемым сопротивлением полученном по формуле 8.1. Однако, формула 8.1 получена для плоскости возможной конденсации, а не для плоскости максимального увлажнения, то есть для условия равенства потоков пара входящего в плоскость возможной конденсации и выходящего из него, то есть для условия, которое не предполагает накопления влаги и тем более максимального увлажнения. Сопротивление паропроницанию от внутренней поверхности ограждения до плоскости максимального увлажнения СП-50 рекомендует определять по методике п. 8.5, то есть по комплексу f , определяемому для каждого слоя многослойной конструкции. По данному комплексу предполагается определить температуру в плоскости максимального увлажнения по таблице 11. Комплекс $f(t)$ ($\text{K}^2/\text{Па}\cdot\text{ч}$?) не имеет определенного физического смысла, не учитывает влияние соседних слоев на распределение влаги в конструкции, поэтому часто при вычислении получаем несуразные результаты, значения которых находятся за пределами значений, представленных в таблице 11 (п.8.5.2).

Ниже представлена оригинальная методика определения требуемого сопротивления паропроницаемости наружных ограждений зданий для холодного периода года, разработанная автором [12], основанная на определении плоскости возможной конденсации влаги в конструкции, отличающаяся от известных методик [13-18].

Для выполнения требований норм по энергосбережению наружные ограждающие конструкции, как правило, должны представлять собой многослойные системы, в которых всегда можно выделить два слоя, один из них выполняет функцию теплозащиты, а другой регулирует диффузию пара в ограждении [12].

Требуемое сопротивление паропроницаемости, определяемое из условия недопущения переувлажнения конструкции, то есть равенства потоков, пара входящих в плоскость возможной конденсации и выходящего из неё будет равно

$$R_{on}^{mp} = R_n' \left(1 + \frac{E_{\kappa} - e_n}{e_{\sigma} - E_{\kappa}} \right); \quad (12)$$

где e_{σ} и e_n – соответственно парциальные давления водяных паров внутри помещения и снаружи; E_{κ} – максимальное значение парциального давления водяного пара в плоскости конденсации;

В расчетном диапазоне температур, (от +20 до -30 °C) функцию $E = f(t)$ с достаточной для инженерных расчётов точностью можно описать полиномом третьей степени:

$$E = 0,019t^3 + 1,52t^2 + 48t + 611. \quad (13)$$

При заданных параметрах эксплуатации ограждающей конструкции (e_{σ} , e_n , t_{σ} , t_n) предельный градиент $\Delta E = (e_{\sigma} - e_n)/(t_{\sigma} - t_n)$ равен первой производной уравнения (13) и определяет наклон касательной к функции $E = f(t)$. Первая производная уравнения (13) имеет вид квадратного уравнения

$$\Delta E = 0,057 t^2 + 3,04 t + 48. \quad (14)$$

Решая уравнение (14) относительно температуры получим значение температуры, при которой действительная упругость водяного пара равна максимальному значению $e = E$, то есть температуру в плоскости конденсации

$$t_k = -26,7 + \sqrt{17,5 \cdot \Delta E_{\kappa} - 131} \quad (15)$$

Подставляя полученное значение температуры t_k в уравнение (13) определим значение максимального парциального давления $E(t_k) = E_{\kappa}$ в плоскости возможной конденсации. Положение плоскости конденсации ($e = E_{\kappa}$) зависит от конструктивного решения наружного ограждения и определяется по положению t_k в соответствующем распределении температуры в конструкции.

Зная эти параметры несложно вычислить сопротивление паропропусканию конструкции от внутренней поверхности до плоскости конденсации R_n' и требуемое сопротивление паропропусканию всей конструкции по уравнению (12).

Комплексный расчет параметров тепло- и пароизоляции многослойных ограждающих конструкций зданий

Идея предлагаемого метода заключается в том, что в отличие от существующих методик [10,13-19], предполагающих вначале интуитивный подбор слоев многослойной конструкции и затем проверку их на соответствие нормативным требованиям, предлагается расчет характеристик этих слоев на основе нормативных требований по методике, представленной в [20]. При этом для обеспечения надежных эксплуатационных свойств многослойная конструкция должна отвечать, как требованиям теплозащиты, так и не накопления влаги в холодный период года, то есть:

$$\begin{cases} R_o^{tp} = R_b + \sum R_{ik} + \frac{\delta^{ym}}{\lambda^{ym}} + \frac{\delta^{nu}}{\lambda^{nu}} + R_n, \\ R_n^{tp} = R_{вн} + \sum R_{ик} + \frac{\delta^{ym}}{\mu^{ym}} + \frac{\delta^{nu}}{\mu^{nu}} + R_{ин}, \end{cases} \quad (16)$$

где R_b , R_n , $R_{вн}$, $R_{ин}$ - соответственно сопротивления тепло- и влагообмена внутренней и наружной поверхности ограждения; $\sum R_{ik}$, $\sum R_{н,ик}$, - суммы термических сопротивлений и

сопротивлений паропрооницанию конструктивно заданных слоев ограждения; $R^{ym} = \frac{\delta^{ym}}{\lambda^{ym}}$,

$R^{nu} = \frac{\delta^{nu}}{\lambda^{nu}}$, $R_n^{ym} = \frac{\delta^{ym}}{\mu^{ym}}$, $R_n^{nu} = \frac{\delta^{nu}}{\mu^{nu}}$ - термические сопротивления и сопротивления паропро-

оницанию утепляющего и пароизоляционного слоев.

Зная требуемые сопротивления теплопередаче и паропрооницанию, подставляя соответствующие значения в систему (16) можно определить либо толщины слоев утеплителя и пароизоляции δ^m и δ^{in} , либо их сопротивления.

Рассмотрим методику комплексного расчета на примере.

Пример. Требуется определить толщину утеплителя и допустимую толщину наружного слоя из керамзитобетона, представляющего собой в данном случае пароизоляцию в трехслойной стеновой панели, если толщина внутреннего слоя из керамзитобетона задана конструктивными требованиями и равна 150мм.

Исходные данные. Жилой дом в Волгограде. Условия эксплуатации «А»:

$$t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}; t_{хл} = -22 \text{ }^\circ\text{C}; t_{нх} = -12 \text{ }^\circ\text{C}; t_{оп} = -2,3 \text{ }^\circ\text{C}; z_{оп} = 176 \text{ сут.};$$

$$\varphi_b = 60\%; \varphi_n = 85\%; \tau_p = 12 \text{ }^\circ\text{C (при } t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C и } \varphi_b = 60\%);$$

Характеристики материалов:

- керамзитобетон, $\gamma_0 = 1600 \text{ кг/м}^3$; $\lambda_A = 0,67 \text{ Вт/(м }^\circ\text{C)}$; $\mu = 0,09 \text{ мг/(м}\cdot\text{ч Па)}$;

- минераловатные плиты, $\gamma_0 = 100 \text{ кг/м}^3$; $\lambda_A = 0,042 \text{ Вт/(м }^\circ\text{C)}$; $\mu = 0,32 \text{ мг/(м}\cdot\text{ч Па)}$;

Коэффициент теплотехнической однородности $r = 0,7$.

$$E_b = 2338 \text{ Па}; e_b = E_b \cdot \varphi_b / 100 = 1403 \text{ Па};$$

$$E_n = 217 \text{ Па}; e_n = E_n \cdot \varphi_n / 100 = 184 \text{ Па}.$$

$$\text{ГСОП} = (20 - (-2,3)) \cdot 176 = 3925 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{сут.}$$

$$R^{mp} = (t_b - t_n) / (t_b - \tau_p) \cdot \alpha_b + k \cdot \text{ГСОП} \cdot 10^{-4} = (20 + 22) / (20 - 12) \cdot 8,7 + 3,5 \cdot 0,3925 = 1,98 \text{ м}^2\text{C/Вт}.$$

С учетом теплотехнической неоднородности $R^{tp} = 1,98 / 0,7 = 2,83 \text{ м}^2\text{C/Вт}$.

$$\Delta \tau = (t_b - t_{нх}) (1 - 0,158 / R^{mp}) = 30,2 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta e = e_b - e_n = 1403 - 184 = 1219 \text{ Па};$$

$$\Delta e / \Delta t = 1219 / 30,2 = 40,4 \text{ Па/}^\circ\text{C};$$

$$t_k = -26,7 + \sqrt{17,5 \times 40,4 - 131} = -26,7 + 24,0 = -2,7 \text{ }^\circ\text{C}.$$

По таблицам определим соответствующее температуре $-2,7^\circ\text{C}$ максимальное парциальное давление насыщенных водяных паров в плоскости конденсации $E_k = 488 \text{ Па}$.

Определим сопротивление теплопередаче до плоскости конденсации:

$$R_k = (t_b - t_k) \cdot R^{mp} / (t_b - t_{но}) = (20 + 2,7) \cdot 2,83 / (20 + 12) = 2,01 \text{ м}^2\text{C/Вт}$$

По величине сопротивления теплопередаче R_k определим слой, в котором расположена плоскость конденсации.

$$R_b = 0,115 \text{ м}^2\text{C/Вт}; R_1 = 0,15 / 0,67 = 0,22 \text{ м}^2\text{C/Вт};$$

$$R_k^{ym} = 2,01 - 0,115 - 0,22 = 1,675 \text{ м}^2\text{C/Вт}.$$

Плоскость конденсации расположена в утеплителе на расстоянии от внутренней поверхности слоя равном

$$\delta^l = R_k^{yt} \cdot \lambda^{yt} = 1,675 \cdot 0,042 = 0,07 \text{ м}.$$

Сопротивление паропрооницанию слоев конструкции от внутренней поверхности до зоны конденсации будет равно

$$R_n' = (0,15 / 0,09) + (0,07 / 0,32) = 1,67 + 0,22 = 1,89 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Требуемое сопротивление паропрооницанию определим по формуле

$$R_{on}^{mp} = R_n' \left(1 + \frac{E_n - e_n}{e_e - E_k} \right) = 1,89 \left(1 + \frac{488 - 184}{1403 - 488} \right) = 2,52 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Подставляя значения R^{mp_o} и $R^{mp_{on}}$ в систему уравнений (1-2) получим

$$\begin{cases} 2,83 = 0,115 + 0,22 + \frac{\delta_{ym}}{0,042} + \frac{\delta_{ni}}{0,67} + 0,043; \\ 2,52 = 1,67 + \frac{\delta_{ym}}{0,32} + \frac{\delta_{ni}}{0,09}. \end{cases}$$

Решая систему двух уравнений с двумя неизвестными получим: $\delta_{yt} = 0,01$ м и $\delta_{ni} = 0,05$ м. Общая толщина панели будет равна

$$\delta_k = 0,15 + 0,10 + 0,05 = 0,30 \text{ м}.$$

Проверим условие не накопления влаги в конструкции в холодный период года.

$$P_e = \frac{e_e - E_k}{R_{ne}} = \frac{1403 - 488}{1,89} = 484 \quad P_n = \frac{E_k - e_n}{R_{no} - R_{ne}} = \frac{488 - 184}{0,63} = 482.$$

Равенство потоков пара, входящих в возможную зону конденсации и выходящих из нее, подтверждают выполнение этого условия.

Критический анализ СП-345

Введённый в действие новый нормативный документ по проектированию теплозащиты зданий СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты зданий», по всей видимости, должен был исправить недостатки действующего документа с аналогичным названием и представить более совершенные методики.

Однако этого не произошло. Новый документ практически дублирует СП 50-13330-2012 «Тепловая защита зданий». Так, например, пункт 4.2 СП-345 дублирует пункт 4.2 СП-50. Пункт 5.1 напоминает инструкцию для домохозяек. Пункты 5.2-5.6 – «определяются по СП-50». Разделы 6,7,8,9,10 повторяют методики СП-50 с небольшими добавлениями.

Совершенно абсурдными представлены новые методики подгонки теплозащитных элементов для достижения целевого сопротивления теплопередаче (п. 5.7) и целевой теплозащитной характеристики (п. 5.9), а также оптимизации теплозащитной оболочки здания и подбор отдельных элементов ограждающих конструкций и их гармонизация по окупаемости энергосберегающих мероприятий (п. 5.10 СП 345). В нормативном документе вводится новый загадочный термин целевой характеристики, при этом целевая задача явно не определена. Между тем вопрос о целевой задаче, решаемой в тех или иных нормах, один из основных методических вопросов.

Более 70% разделов и отдельных пунктов нового нормативного документа СП-345 повторяют или ссылаются на действующие нормы СП-50, качество которых рассмотрено выше.

Выводы

Основным недостатком действующих норм по теплозащите зданий является то, что в них неверно определена основная целевая задача для которой служит «тепловая защита здания», а именно - обеспечение теплового комфорта в помещениях, которая в действующих нормативных документах по теплозащите зданий, не рассматривается. Все остальные цели, представленные в действующих нормах, являются вторичными.

В данной статье рассмотрены лишь некоторые наиболее существенные недостатки действующих норм по «теплозащите зданий». Несмотря на то, что Своды Правил утверждаются и вводятся в действие министерствами и департаментами, научная общественность, тоже несёт определенную ответственность за качество нормативных документов, которые существенно влияют на качество проектирования и строительства зданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Минрегионразвития РФ, М.2012
2. СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты зданий». Минстрой РФ. М.2017.
3. ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещении».
4. Перехоженцев А.Г. Теоретические основы и методы расчёта температурно-влажностного режима ограждающих конструкций зданий. Волгоград: ВолгГАСУ, 2008. С. 104-112
5. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений: Расчёт комфортных параметров по теплоощущениям человека / Пер. с венг. В.М. Беляева; Под ред. В.И. Прохорова и А.Л. Наумова. М.: Стройиздат, 1981.248 с.
6. Fanger P.O. Thermal Comfort. Mc Grow Hill, 1970.
7. СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях».
8. Жуков А.Н. Перехоженцев А.Г. К вопросу о тепловой устойчивости невентилируемой совмещенной крыши эксплуатируемого здания //Современные проблемы проектирования, строительства и модернизации инженерных коммуникаций: мат-лыМеждунар. Науч.-техн. Конф – Самаркандский ГАСИ, Самарканд. 2014.С.384-387.
9. Перехоженцев А.Г. Методика расчёта распределения температуры в многослойных ограждающих конструкциях зданий с учётом влияния инфильтрации холодного воздуха // Материалы 2-ой Международной научно-техн. конф. «Теоретические основы теплоснабжения и вентиляции». М.: МГСУ, 2007.
10. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий /Под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
11. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология». М., 2012.
12. Перехоженцев А.Г. Нормирование и расчет паропроницаемости многослойных ограждающих конструкций // Akademia. Архитектура и строительство. 2018. №3. С.130-134.
13. Klopfer H. Wasser transport durch Diffusion in Feststoffen. Bauvertag Wiesbaden, 1974.
14. Glaser. Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen. Kaltentechnik. Heft 10, 1959.
15. Шпайдель К. Диффузия и конденсация водяного пара в ограждающих конструкциях. /перевод В.Г. Бердичевского. М.: Стройиздат, 1985.
16. Блази В. Справочник проектировщика. Строительная физика. М.: Техносфера, 2004. 480с.
17. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Анализ расположения зоны наибольшего увлажнения в ограждающих конструкциях с различной толщиной теплоизоляционного слоя // Жилищное строительство. 2016. №6. С.8-12.
18. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Петриченко М.П., Горшков Ф.С. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №6. С.19-33.
19. Ушков Ф.В. Метод расчета увлажнения ограждающих частей зданий. МКХ РСФСР. М., 1955. 104с.
20. Перехоженцев А.Г. Метод расчета многослойных ограждающих конструкций зданий на тепло и пароизоляцию // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2017. №9 (997). С.46-49.

REFERENCES

1. Building Code of Russia SP 50.13330.2012 “Teplovaya zashchita zdaniy” [Heat protection of buildings]. Moscow: Minregionrazvitiya RF, 2012
2. Building Code of Russia SP 345.1325800.2017 «Zdaniya zhilyye i obshchestvennyye. Pravila proyektirovaniya teplovoy zashchity zdaniy». Minstroy RF. M.2017.
3. Russian standart GOST 30494-96 «Zdaniya zhilyye i obshchestvennyye. Parametry mikroklimate v pomeshchenii» [Residual and public buildings. Parameters of micro climate in the room].
4. Perekhozhentsev A.G. Teoreticheskiye osnovy i metody raschota temperaturno-vlazhnostnogo rezhima ogra-zhdayushchikh konstruksiy zdaniy [Theoretical basics and methods for calculation of heat-humidity mode of envelope structures]. Volgograd: VolgGASU, 2008. Pp. 104-112

5. Bankhidi L. Teplovoy mikroklimat pomeshcheniy: Raschot komfortnykh parametrov po teplooshchushcheniyam cheloveka [Heat micro climate in a room: calculation of comfort parameters on the bases of human's heat feelings] / Transl. from Hungarian by V.M. Belyayev; Edited by V.I. Prokhorov and A.L. Naumov. Moscow: Stroyizdat, 1981. 248 p.
6. Fanger P.O. Thermal Comfort. Mc Grow Hill, 1970.
7. Russian standart SanPiN 2.1.2.2645-10 «Sanitarno-epidemiologicheskiye trebovaniya k usloviyam prozhivaniya v zhilykh zdaniyakh i pomeshcheniyakh» [Sanitary and epidemiological requirements for living conditions in residential buildings and premises].
8. Zhukov A.N. Perekhozhentsev A.G. K voprosu o teplovoy ustoychivosti neventiliruyemoy sovmeshchennoy kryshi ekspluatiruyemogo zdaniya [On the issue of thermal stability of a non-ventilated combined roof of an operated building]. Proc. Of Int. Conf. "Sovremennyye problemy proyektirovaniya, stroitel'stva i modernizatsii inzhenernykh kommunikatsiy" [Modern Problems of Design, Construction and Modernization of Engineering Communications]. Samarkand: Samarkand GASI. 2014. Pp. 384-387.
9. Perekhozhentsev A.G. Metodika rascheta raspredeleniya temperatury v mnogosloynnykh ograzhdayushchikh konstruksiyakh zdaniy s uchotom vliyaniya infil'tratsii kholodnogo vozdukha [Methods of calculating the temperature distribution in multilayer enclosing structures of buildings, taking into account the effect of cold air infiltration]. Proc. Of Int. Conf. "Teoreticheskiye osnovy teplosnabzheniya i ventilyatsii" ["Theoretical bases of heat supply and ventilation"]. Moscow: MGSU, 2007.
10. Fokin K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastey zdaniy [Building heat engineering of enclosing parts of buildings] / Edited by Yu.A. Tabunshchikov, V.G. Gagarin. Moscow: AVOK-PRESS, 2006. 256 p.
11. Building Code of Russia SP 131.13330.2012 «Stroitel'naya klimatologiya». M., 2012.
12. Perekhozhentsev A.G. Normirovaniye i raschet paropronitsayemosti mnogosloynnykh ograzhdayushchikh konstruksiy [Rationing and calculation of vapor permeability of multilayer enclosing structures]. *Akademia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2018. No 3. Pp. 130-134.
13. Klopfer H. Wasser transport durch Diffusion in Feststoffen. Bauvertag Wiesbaden, 1974.
14. Glaser. Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgangen. Kaltentechnik. Heft 10, 1959.
15. Shpaydel' K. Diffuziya i kondensatsiya vodyanogo para v ograzhdayushchikh konstruksiyakh [Diffusion and condensation of water vapor in enclosing structures] / transl. by V.G. Berdichevsky. Moscow: Stroyizdat, 1985.
16. Blazi V. Spravochnik proyektirovshchika. Stroitel'naya fizika [Reference Designer. Building physics]. Moscow: Tekhnosfera, 2004. 480 p.
17. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Analiz raspolozheniya zony naibol'shego uvlazhneniya v ograzhdayushchikh konstruksiyakh s razlichnoy tolshchinoy teploizolyatsionnogo sloya [Analysis of the location of the zone of maximum moisture in enclosing structures with different thickness of the insulating layer]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2016. No 6. Pp. 8-12.
18. Korniyenko S.V., Vatin N.I., Petrichenko M.P., Gorshkov F.S. Otsenka vlazhnostnogo rezhima mnogosloynnoy stenovoy konstruksii v godovom tsikle [Evaluation of the moisture regime of a multi-layer wall structure in the annual cycle]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*. 2015. No 6. Pp. 19-33.
19. Ushkov F.V. Metod rascheta uvlazhneniya ograzhdayushchikh chastey zdaniy []. MKKH RSFSR. Moscow, 1955. 104 p.
20. Perekhozhentsev A.G. Metod rascheta mnogosloynnykh ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy na teplo i paroizolyatsiyu [The method of calculation of multi-layer building envelopes for heat and vapor insulation]. *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki*. 2017. No 9 (997). Pp.46-49.

Информация об авторах:

Перехоженцев Анатолий Георгиевич

Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, Россия, доктор технических наук, профессор кафедры архитектуры зданий и сооружений института архитектуры и строительства, Заслуженный работник ВШ РФ, член Союза архитекторов России.
E-mail: pag41@mail.ru

Войтович Елена Валерьевна

Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия, Ведущий инженер
E-mail: e.voitovich@mail.ru

Information about authors:

Perehozhentsev A. G.

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia,
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Architecture of Buildings and Structures of the Institute of Architecture and Construction, Honored Worker of the Higher School of Economics of the Russian Federation, member of the Union of Architects of Russia.
E-mail: pag41@mail.ru

Voitovich E. V.

Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAACS),
Moscow, Russia,
Lead Engineer
E-mail: e.voitovich@mail.ru