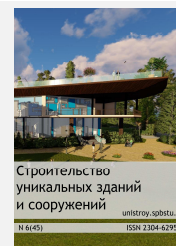


Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Оценка влажностного режима стен с фасадными теплоизоляционными композиционными системами

С.В. Корниенко ^{1*}, Н.И. Ватин ², А.С. Горшков ³

¹⁻³Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье

УДК 699.86

История

Подана в редакцию 25 мая 2016

Ключевые слова

ограждающая конструкция;
СФТК;
автоклавный газобетон;
тепловая изоляция зданий;
плоскость максимального
увлажнения;
плоскость конденсации влаги;
влагонакопление;

АННОТАЦИЯ

Выполнена расчетная оценка влажностного режима четырех типов стен с фасадными теплоизоляционными композиционными системами. Показано, что для ограждающих конструкций из газобетонных блоков алгоритм определения плоскости максимального увлажнения в соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» дает физически необоснованный результат и нуждается в корректировке. Следует различать понятия «плоскость максимального увлажнения» и «плоскость конденсации», определяющие различные физические процессы в ограждающих конструкциях. Расчет защиты от переувлажнения ограждающих конструкций, выполненный согласно базовому методу СП 50.13330.2012, показал, что систематического накопления влаги в ограждающих конструкциях за годовой период эксплуатации не происходит, переувлажнение теплоизоляционного слоя за период влагонакопления отсутствует. Устройство дополнительного пароизоляционного слоя в конструкциях не требуется. Расчет влажностного режима ограждающих конструкций альтернативным методом в годовом цикле показал, что во всех рассматриваемых типах ограждающих конструкций плоскость конденсации влаги в наиболее холодный месяц года отсутствует. В этом случае конденсации влаги в ограждающих конструкциях не происходит. Продолжительность сушки наружных стен из газобетонных блоков возрастает при использовании в качестве наружного теплоизоляционного слоя плит из экструзионного пенополистирола, имеющих низкую паропроницаемость. Для нормализации влажностного режима стен начальная влага должна быть удалена из ограждающих конструкций в течение 2–3 лет с момента сдачи объекта в эксплуатацию.

Содержание

1.	Введение	35
2.	Методы	35
3.	Результаты и обсуждение	42
4.	Заключение	49

Контактный автор:

- 1*. +7(988)4912459, svkorn2009@yandex.ru (Корниенко Сергей Валерьевич, к.т.н., доцент)
2. +7(921)9643762, vatin@mail.ru (Ватин Николай Иванович, д.т.н., профессор)
3. +7(921)3884315, alsgor@yandex.ru (Горшков Александр Сергеевич, к.т.н., доцент)

1. Введение

В настоящее время широкое применение в практике строительства РФ получили ограждающие конструкции с фасадными теплоизоляционными композиционными системами (СФТК). Ограждающие конструкции с СФТК представляют собой конструкции стен, выполненных в виде монолитного железобетона или кладок из мелкоштучных изделий (автоклавных газобетонных блоков, керамических и силикатных кирпичей и др.), утепленных с наружной стороны слоем теплоизоляционного материала, который защищен от внешних климатических воздействий тонким слоем штукатурки, нанесенной по стеклосетке [1, 2]. В качестве теплоизоляционного слоя применяют плиты из минеральной ваты или экструдированного пенополистирола. Для крепления теплоизоляционного слоя СФТК используют системы с клеевым, механическим или комбинированным креплением. С внутренней стороны стены оштукатуривают известково-песчаным, гипсовым или сложным растворами. Подобные конструкции имеют высокие значения приведенного сопротивления теплопередаче, обусловленные малым количеством теплопроводных включений и краевых зон, что определяет широкую область применения этих конструкций в различных климатических зонах [3—15].

Таким образом, с точки зрения теплозащиты конструкции с СФТК являются, безусловно, перспективными в строительстве. Однако их влажностный режим в настоящее время малоизучен. Этим определяется **актуальность** данной работы.

2. Методы

2.1 Общие положения

Объектом исследования являются ограждающие конструкции, утепленные СФТК согласно ГОСТ Р 53785–2010 «Системы фасадные теплоизоляционные композиционные с наружными штукатурными слоями. Классификация» [2].

СФТК имеют штукатурные слои, наносимые поверх слоя эффективной теплоизоляции, и предназначены для применения при утеплении зданий и сооружений в процессе их строительства, ремонта и реконструкции.

Совместная работа всех составных частей системы обеспечивается силой их внутреннего взаимодействия, имеющей физическую и (или) химическую природу.

В качестве теплоизоляционного слоя использованы плиты из экструдированного (по терминологии Заказчика — «экструзионного») пенополистирола (ЭППС) «XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON», имеющие, по данным Заказчика, различную паропроницаемость.

Крепление теплоизоляционного слоя СФТК к основанию стены осуществляется комбинированным способом. Клеевое крепление производится с помощью штукатурно-клеевой смеси марки «Ceresit СТ 85». Толщина клеевого слоя 10 мм.

Для базового штукатурного слоя используется штукатурно-клеевая смесь марки «Ceresit СТ 85» с армированием сеткой. Толщина штукатурного слоя 6 мм.

С внутренней стороны ограждающие конструкции оштукатурены гипсовым раствором толщиной 10 мм.

С целью оценки влияния конструктивного решения наружных ограждений с СФТК на их влажностный режим расчет выполнен для четырех типов стен:

конструкция 1 с основанием из кладки газобетонных блоков на клеевом составе толщиной 300 мм (рис. 1);

конструкция 2 с основанием из кладки керамического кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной 380 мм (рис. 2);

конструкция 3 с основанием из кладки газобетонных блоков на клеевом составе толщиной 300 мм (рис. 3) с утеплителем, имеющим большую паропроницаемость по сравнению с конструкцией 1;

конструкция 4 с основанием из кладки силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной 250 мм (рис. 4).

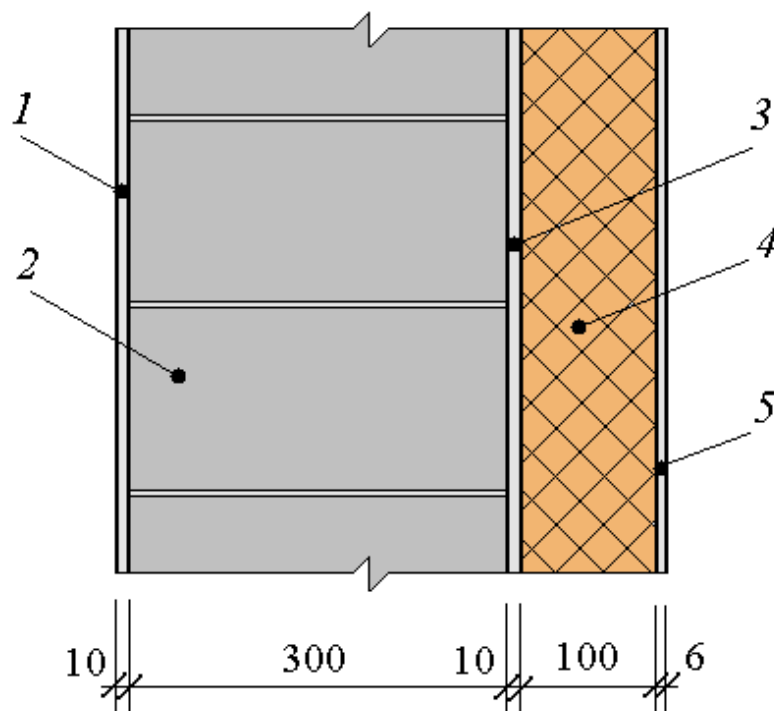


Рисунок 1. Расчетная схема конструкции 1: 1 — гипсовая штукатурка; 2 — кладка газобетонных блоков на клеевом составе; 3 — штукатурно-клеевая смесь марки «Ceresit CT 85»; 4 — утеплитель «XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON»; 5 — штукатурно-клеевая смесь марки «Ceresit CT 85»

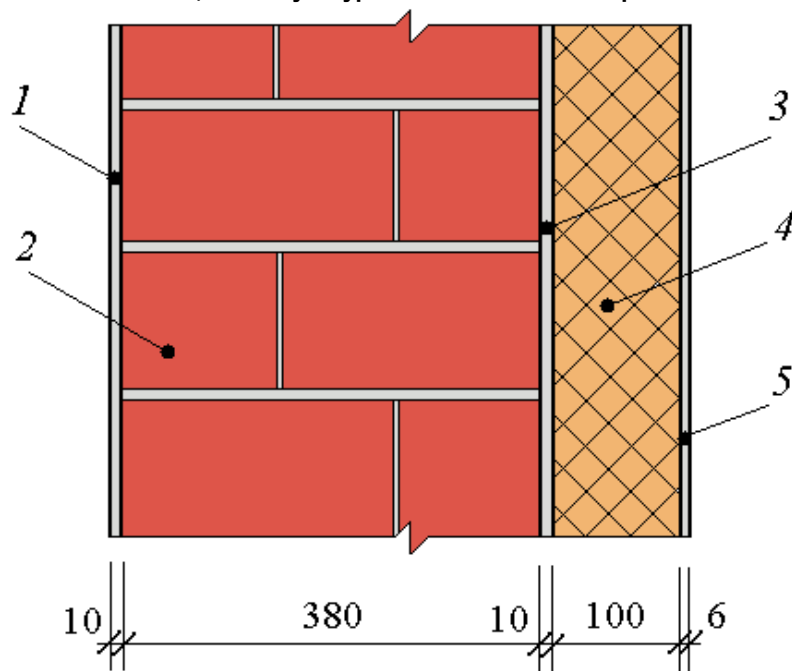


Рисунок 2. Расчетная схема конструкции 2: 1 — гипсовая штукатурка; 2 — кладка керамического кирпича на цементно-песчаном растворе; 3 — штукатурно-клеевая смесь марки «Ceresit CT 85»; 4 — утеплитель «XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON»; 5 — штукатурно-клеевая смесь марки «Ceresit CT 85»

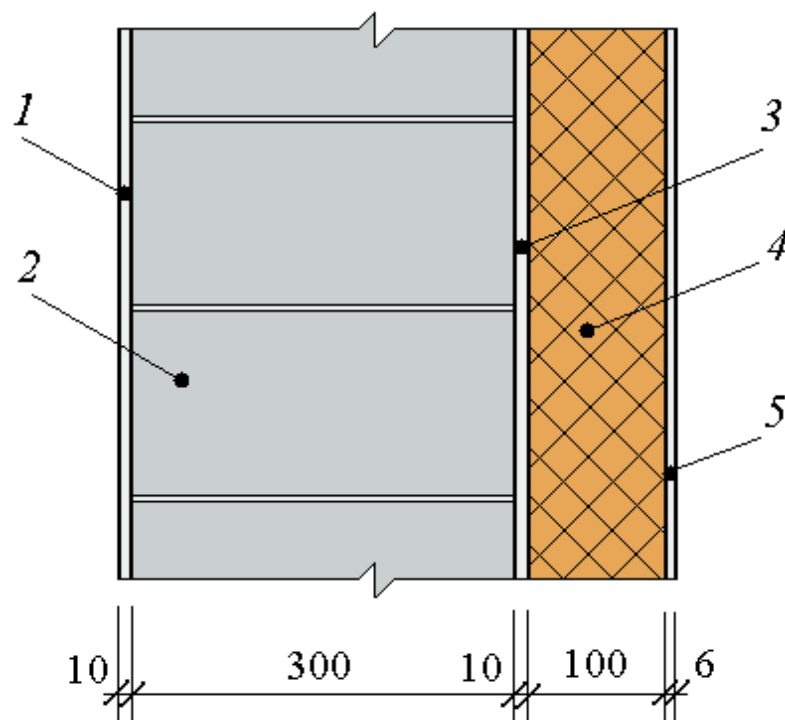


Рисунок 3. Расчетная схема конструкции 3: 1 — гипсовая штукатурка; 2 — кладка газобетонных блоков на клеевом составе; 3 — штукатурно-клеевая смесь марки «Ceresit CT 85»; 4 — утеплитель «XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON/1»; 5 — штукатурно-клеевая смесь марки «Ceresit CT 85»

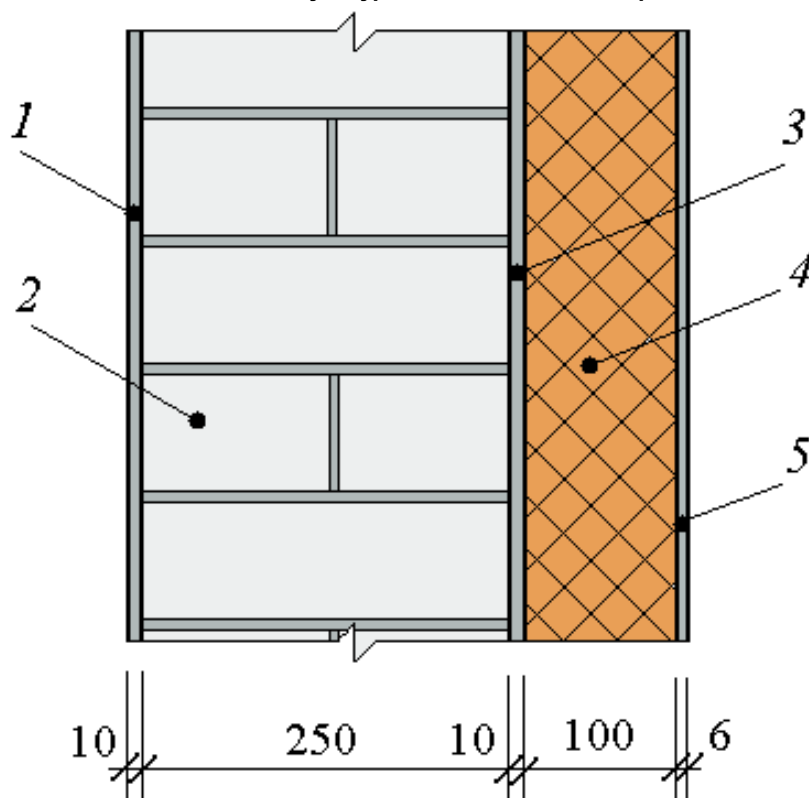


Рисунок 4. Расчетная схема конструкции 4: 1 — гипсовая штукатурка; 2 — кладка силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе; 3 — штукатурно-клеевая смесь марки «Ceresit CT 85»; 4 — утеплитель «XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON/1»; 5 — штукатурно-клеевая смесь марки «Ceresit CT 85»

Указанные конструктивные решения наружных ограждений приняты в соответствии с техническим заданием Заказчика. Повышенный уровень теплозащиты наружных стен с СФТК обеспечивается применением эффективного утеплителя из экструзионного пенополистирола «XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON».

Во всех рассматриваемых конструкциях толщина теплоизоляционного слоя принята равной 100 мм.

Расчет влажностного режима выполнен для ограждающих конструкций жилых помещений, пункт строительства — Москва.

С целью сравнительной оценки результатов расчет влажностного режима ограждающих конструкций выполнен двумя способами:

базовым методом согласно п. 8 «Защита от переувлажнения ограждающих конструкций» СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [16];

альтернативным методом в соответствии с СТО 73090654.001–2015 [17] и СТО 03984362.574100.056–2015 [18] на основе анализа влажностного режима ограждений в годовом цикле.

Согласно п. 8.1 СП 50.13330.2012 защита от переувлажнения ограждающих конструкций должна обеспечиваться путем проектирования конструкций с сопротивлением паропрооницанию внутренних слоев не менее требуемого значения, определяемого расчетом одномерного влагопереноса, осуществляемого по механизму диффузии водяного пара в ограждении.

Сопротивление паропрооницанию R_n , м²·ч·Па/мг, ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения должно быть не менее наибольшего из следующих требуемых сопротивлений паропрооницанию:

а) требуемого сопротивления паропрооницанию R_{n1}^{TP} из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации, определяемого по формуле

$$R_{n1}^{TP} = \frac{(e_B - E)R_{п.н}}{E - e_H}; \quad (1)$$

б) требуемого сопротивления паропрооницанию R_{n2}^{TP} из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха, определяемого по формуле

$$R_{n2}^{TP} = \frac{0,0024z_0(e_B - E_0)}{\rho_w \delta_w \Delta w + \eta}. \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) использованы обозначения согласно СП 50.13330.2012.

Плоскость максимального увлажнения определяется согласно п. 8.5 СП 50.13330.2012 для периода влагонакопления, принимаемого равным периоду с отрицательными среднemesячными температурами наружного воздуха.

Для каждого слоя многослойной ограждающей конструкции вычисляется значение комплекса $f_i(t_{м.у})$, характеризующего температуру в плоскости максимального увлажнения:

$$f_i(t_{м.у}) = 5330 \frac{R_{о,п}(t_B - t_{н,отр})\mu_i}{R_o^{усл}(e_B - e_{н,отр})\lambda_i}. \quad (3)$$

По полученным значениям комплекса $f_i(t_{м.у})$ на основе табл. 11 СП 50.13330.2012 определяются значения температур в плоскости максимального увлажнения $t_{м.у}$ для каждого слоя многослойной конструкции.

Для определения слоя, в котором находится плоскость максимального увлажнения, производится сравнение полученных значений $t_{м.у}$ с температурами на границах слоев конструкции. Если температура $t_{м.у}$ в каком-то из слоев расположена в интервале температур на границах этого слоя, то делается вывод о наличии в данном слое плоскости максимального увлажнения и определяется координата плоскости — $X_{м.у}$ (в предположении линейного распределения температуры внутри слоя).

Если в каждом из двух соседних слоев конструкции отсутствует плоскость с температурой $t_{м.у}$, при этом у более холодного слоя $t_{м.у}$ выше его температуры, а у более теплого слоя $t_{м.у}$ ниже его температуры, то плоскость максимального увлажнения находится на границе этих слоев.

По мнению авторов статьи [19], разработанная методика позволяет уточнить расположение плоскости максимального увлажнения в конструкции, относительно которой из уравнений баланса влаги проверяется необходимость устройства дополнительной пароизоляции в конструкции. Критический анализ метода определения плоскости максимального увлажнения содержится в работах [20, 21] и не является предметом данной работы. Определение термина «плоскость максимального увлажнения» в СП 50.13330.2012 отсутствует, что затрудняет интерпретацию результатов расчета. По-видимому, под плоскостью максимального увлажнения авторы СП 50.13330.2012 понимают сечение конструкции, в

котором происходит максимальное приближение парциального давления водяного пара к давлению насыщенного водяного пара. Ввиду сложности и трудоемкости, а также неоднозначности определения плоскости максимального увлажнения, оценка влагозащитных свойств при проектировании современных ограждающих конструкций с повышенным уровнем теплозащиты по методу СП [16] в настоящее время затруднена.

Следует отметить, что Постановлением Правительства РФ от 26 декабря 2014 года № 1521 утвержден и введен в действие с 1 июля 2015 года перечень национальных стандартов и сводов правил, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [25]. В указанный перечень включена часть СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» в виде подпунктов «а» и «б» пункта 8.1, устанавливающих только нормативные требования к защите от переувлажнения ограждающих конструкций. Сами методы расчета влагозащитных свойств ограждающих конструкций не являются обязательными для применения. Это обстоятельство указывает на возможность и необходимость применения альтернативных методов оценки влажностного режима ограждающих конструкций.

Альтернативные методы определения наибольшего увлажнения материалов ограждающих конструкций предложены в работах [22, 23] и обоснованы теорией потенциала влажности [24].

С целью сравнительной оценки результатов выполнен расчет влажностного режима ограждающей конструкции в годовом цикле согласно СТО 73090654.001–2015 [17] и СТО 03984362.574100.056–2015 [18]. Указанные стандарты организаций разработаны с целью повышения уровня безопасности людей в зданиях и сооружениях и сохранности материальных ценностей в соответствии с Федеральным законом № 384–ФЗ [25] и гармонизированы с требованиями Международного стандарта ISO/FDIS 13788 [26]. В отличие от метода оценки влагозащитных свойств ограждающих конструкций, принятого в СП 50.13330.2012, разработанные и внедренные в стандарты организаций методы позволяют выполнить оценку влагонакопления в ограждающих конструкциях в годовом цикле на основе определения плоскостей конденсации влаги в ограждении в наиболее холодный месяц года с последующим анализом динамики влагонакопления в этих плоскостях конденсации по месяцам в течение года [21, 27]. Указанные методы инженерной оценки влажностного режима ограждающих конструкций наглядны и доступны широкому кругу проектировщиков.

2.2 Исходные данные для определения влагозащитных свойств ограждающих конструкций согласно СП 50.13330.2012

Параметры наружного климата

Параметры наружного климата для различных периодов года определены согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» [28] и приведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры наружного климата для различных периодов года (Москва)

Параметр	Обозначение, ед. изм.	Значение параметра
Средняя температура наружного воздуха за период влагонакопления*	$t_{н,отр}, ^\circ\text{C}$	–4,58
Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за период влагонакопления	$e_{н, отр}, \text{Па}$	364
Продолжительность периода влагонакопления	$z_0, \text{сут}$	151
Средняя температура наружного воздуха для периода:		
зимнего	$t_{н1}, ^\circ\text{C}$	–6,83
осенне-весеннего	$t_{н2}, ^\circ\text{C}$	–1,2
летнего	$t_{н3}, ^\circ\text{C}$	12,6
Продолжительность периода:		
зимнего	$z_1, \text{мес}$	3
осенне-весеннего	$z_2, \text{мес}$	2
летнего	$z_3, \text{мес}$	7
Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за годовой период	$e_{н}, \text{Па}$	767

* Период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха.

Согласно прил. В СП 50.13330.2012 зона влажности района строительства — нормальная.

Параметры микроклимата в помещении

Параметры микроклимата в помещении определены согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита» и приведены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры микроклимата жилого помещения

Параметр	Обозначение, ед. изм.	Значение параметра
Температура внутреннего воздуха	$t_{в}$ °C	20
Относительная влажность внутреннего воздуха	$\phi_{в}$, %	55*
Парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха	$e_{в}$ Па	1273

* Согласно п. 5.7 СП 50.13330.2012.

В соответствии с табл. 1 СП 50.13330.2012 влажностный режим помещений — нормальный.

Расчетные теплотехнические показатели материалов и изделий ограждающих конструкций

Согласно табл. 2 СП 50.13330.2012 условия эксплуатации ограждающих конструкций — Б. Расчетные теплотехнические характеристики материалов рассматриваемых типов ограждающих конструкций согласно п. 2.1 приведены в табл. 3.

Таблица 3. Расчетные теплотехнические характеристики материалов и изделий ограждающих конструкций

Номер слоя	Материал, изделие	Плотность материала в сухом состоянии ρ_0 , кг/м ³	Теплопроводность λ_B , Вт/(м·К)	Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
1	Внутренняя штукатурка: гипсовый раствор	1100	0,41	0,11
2	Основание:			
2.1	Кладка газобетонных блоков на клеевом составе	500	0,21	0,2
2.2	Кладка керамического кирпича на цементно-песчаном растворе	1600	0,64	0,14
2.3	Кладка силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе	1800	0,87	0,11
3	Клеевой слой: штукатурно-клеевая смесь «Ceresit CT 85»	—	0,41	0,067*
4	Утеплитель:			
4.1	«XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON»	26—32**	0,032**	0,011**
4.2	Утеплитель «XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON/1»	26—32**	0,032**	0,0295**
5	Наружная штукатурка: штукатурно-клеевая смесь «Ceresit CT 85»	—	0,41	0,04*

* Эквивалентное значение сопротивлению паропроницанию 0,15 м²·ч·Па/мг согласно [1].

** По данным производителя.

Граничные условия

Граничные условия теплообмена поверхностей ограждающей конструкции с окружающей средой приведены в табл. 4.

Таблица 4. Граничные условия теплообмена [16]

Параметр	Обозначение, ед. изм.	Значение параметра
Коэффициент теплообмена: у внутренней поверхности конструкции	$\alpha_{в},$ Вт/(м ² ·К)	8,7
у наружной поверхности конструкции	$\alpha_{н},$ Вт/(м ² ·К)	23

Согласно СП 50.13330.2012 при задании граничных условий влагообмена сопротивление влагообмену у внутренней и наружной поверхностей ограждения принимается равным нулю.

2.3 Исходные данные для расчета влажностного режима ограждающих конструкций в годовом цикле согласно СТО 73090654.001–2015 и СТО 03984362.574100.056–2015

Параметры наружного климата

Среднемесячные значения температуры t_{ext} и относительной влажности наружного воздуха ϕ_{ext} для указанного пункта строительства приняты согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» и приведены в табл. 5.

Таблица 5. Параметры наружного климата (Москва)

Месяц	Температура $t_{ext}, ^\circ\text{C}^*$	Относительная влажность воздуха ϕ_{ext}
Январь	–7,8	0,81
Февраль	–7,1	0,8
Март	–1,3	0,7
Апрель	6,4	0,65
Май	13	0,61
Июнь	16,9	0,65
Июль	18,7	0,69
Август	16,8	0,74
Сентябрь	11,1	0,79
Октябрь	5,2	0,8
Ноябрь	–1,1	0,89
Декабрь	–5,6	0,89

* Здесь и далее по п. 2.3 использована международная система обозначений физических величин.

Параметры микроклимата в помещении

Среднемесячные значения температуры t_{int} и относительной влажности ϕ_{int} внутреннего воздуха вычислены в соответствии с методикой Международного стандарта ISO/FDIS 13788 [26] в зависимости от температуры наружного воздуха и приведены в табл. 6.

Таблица 6. Параметры микроклимата в жилом помещении

Месяц	Температура $t_{int}, ^\circ\text{C}$	Относительная влажность воздуха ϕ_{int}
Январь	20,0	0,32
Февраль	20,0	0,33
Март	20,0	0,39
Апрель	20,0	0,46
Май	21,5	0,53
Июнь	23,5	0,57
Июль	24,4	0,59
Август	23,4	0,57
Сентябрь	20,6	0,51

Октябрь	20,0	0,45
Ноябрь	20,0	0,39
Декабрь	20,0	0,34

Расчетные теплотехнические показатели материалов и изделий ограждающих конструкций

Расчетные теплотехнические характеристики материалов и изделий рассматриваемых типов ограждающих конструкций приведены в п. 2.2.

Граничные условия

Граничные условия тепло- и влагообмена поверхностей ограждающей конструкции с окружающей средой приведены в табл. 7.

Таблица 7. Граничные условия тепло- и влагообмена

Сопротивление теплообмену, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$		Сопротивление влагообмену, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$	
у внутренней поверхности	у наружной поверхности	у внутренней поверхности	у наружной поверхности
0,13	0,04	$11,1 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$

3. Результаты и обсуждение

3.1 Оценка определения плоскости максимального увлажнения согласно СП 50.13330.2012

Результаты определения плоскости максимального увлажнения для рассматриваемых типов ограждающих конструкций при исходных данных п. 2.2, приведены в табл. 8—11.

Ниже представлен подробный анализ полученных результатов.

Конструкция 1. Рассматриваемая конструкция имеет две плоскости максимального увлажнения (табл. 8). Одна плоскость расположена в слое утеплителя. Координата этой плоскости $X_{\text{м.у1}} = 0,388 \text{ м}$, считая от внутренней поверхности конструкции. Другая плоскость, в силу требования п. 8.5.5 СП 50.13330.2012, находится на границе второго и третьего слоев конструкции ($X_{\text{м.у2}} = 0,31 \text{ м}$).

Таблица 8. Определение плоскости максимального увлажнения в конструкции 1

№ слоя	Комплекс $f_i(t_m)$, $(^\circ\text{C})^2/\text{Па}$	Температура в слое $t_{m,i}$, $^\circ\text{C}$	Температура на границах слоя $t_{b,i}$, $^\circ\text{C}$	Плоскость максимального увлажнения	
				в слое	на границах слоя
1	88,93	4,89	19,41	—	—
2	315,6	−14,14	19,28	—	—
3	54,2	13,17	11,93	—	+*
4	113,9	0,93	11,8	+	—
5	32,3	18	−4,28	—	—
			−4,36	—	—

* Знак «+» означает наличие плоскости максимального увлажнения в конструкции, знак «—» — отсутствие плоскости.

Расположение плоскости на границе слоев конструкции вызывает сомнение. Для проверки результатов расчета, полученных по СП 50.13330.2012, выполнен альтернативный расчет на основе построения профилей парциального давления водяного пара и давления насыщенного водяного пара [17, 18] в конструкции при тех же граничных условиях. Результаты расчета представлены на рис. 5.

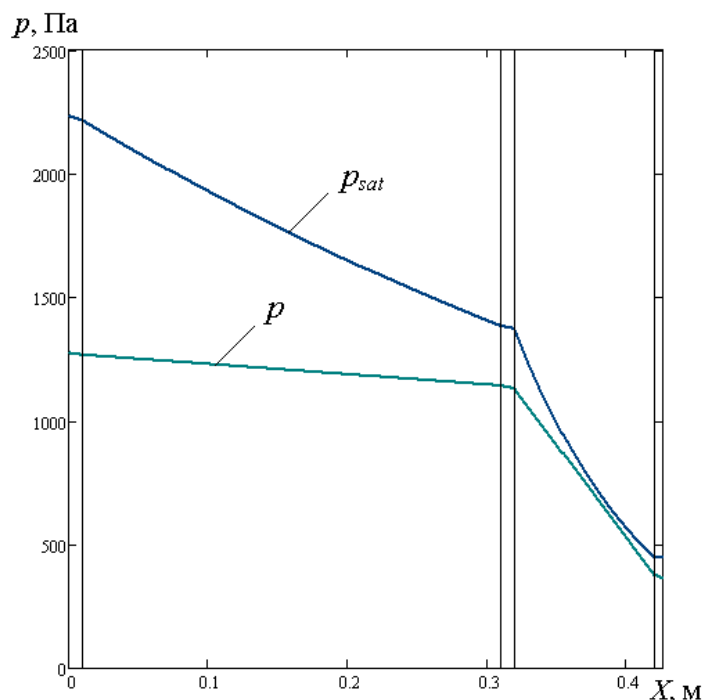


Рисунок 5. Профили парциального давления водяного пара (p) и давления насыщенного водяного пара (p_{sat}) в период влагонакопления в конструкции 1

Как видно из рис. 5, максимальное сближение кривых p и p_{sat} отмечается в слое утеплителя, что подтверждает расположение в этом сечении плоскости максимального увлажнения, полученное расчетом по СП 50.13330.2012. Однако сближение кривых p и p_{sat} на границе второго и третьего слоев конструкции отсутствует, что, по мнению авторов данной работы, указывает на некорректность алгоритма определения плоскости максимального увлажнения по СП 50.13330.2012 (п. 8.5.5). В связи с этим плоскость, расположенная на стыке материалов, при оценке влагозащитных свойств ограждающей конструкции не учитывается.

В отличие от метода СП 50.13330.2012 альтернативный метод расчета на основе профилей парциального давления водяного пара p и давления насыщенного водяного пара p_{sat} [17, 18] позволяет определить плоскость конденсации в конструкции. Расчет на основе профилей p и p_{sat} показывает (рис. 5), что в плоскости максимального увлажнения, определенной по СП 50.13330.2012 (табл. 8), выпадения конденсата не происходит, так как $p < p_{sat}$ в этой плоскости.

Конструкция 2. Рассматриваемая конструкция имеет одну плоскость максимального увлажнения в слое утеплителя (табл. 9). Координата этой плоскости $X_{м.у} = 0,497$ м, считая от внутренней поверхности конструкции.

Таблица 9. Определение плоскости максимального увлажнения в конструкции 2

№ слоя	Комплекс $f_i(t_m)$, $(^{\circ}\text{C})^2/\text{Па}$	Температура в слое $t_{m,i}$, $^{\circ}\text{C}$	Температура на границах слоя $t_{b,i}$, $^{\circ}\text{C}$	Плоскость максимального увлажнения	
				в слое	на границах слоя
1	119,7	0,17	19,28	—	—
2	97,6	3,4	19,13	—	—
3	72,9	8,15	15,43	—	—
4	153,3	−3,64	15,28	+	—
5	43,5	16,99	−4,22	—	—
			−4,31		—

Конструкция 3. Так же как и в первом случае, рассматриваемая конструкция имеет две плоскости максимального увлажнения (табл. 10): в слое утеплителя ($X_{м.у1} = 0,412$ м) и на границе второго и третьего слоев конструкции ($X_{м.у2} = 0,31$ м).

Таблица 10. Определение плоскости максимального увлажнения в конструкции 3

№ слоя	Комплекс $f_i(t_m)$, (°C) ² /Па	Температура в слое $t_{m,i}$, °C	Температура на границах слоя $t_{b,i}$, °C	Плоскость максимального увлажнения	
				в слое	на границах слоя
1	42,7	17,31	19,41	–	–
2	151,7	–3,48	19,28	–	–
3	26	24,36	11,93	–	+
4	146,9	–3	11,8	+	–
5	15,5	28,79	–4,28	–	–
			–4,36		–

Расположение плоскости максимального увлажнения на стыке материальных слоев ограждения не подтверждается расчетом профилей p и p_{sat} [17, 18] (рис. 6) и потому при анализе влагозащитных свойств конструкции не принимается во внимание.

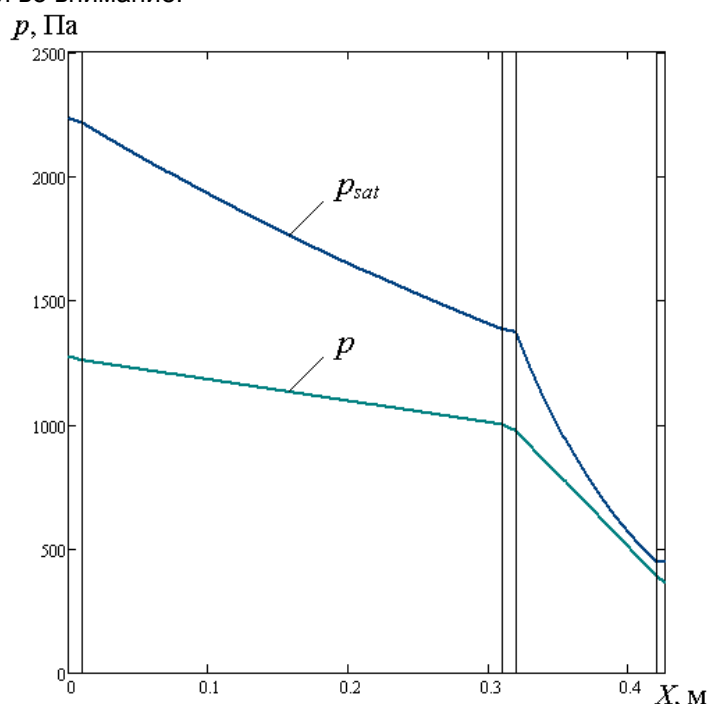


Рисунок 6. Профили парциального давления водяного пара (p) и давления насыщенного водяного пара (p_{sat}) в период влагонакопления в конструкции 3

Конструкция 4. Рассматриваемая конструкция имеет одну плоскость максимального увлажнения, расположенную на границе утеплителя и наружного защитно-отделочного слоя (табл. 11). Координата этой плоскости $X_{м.у} = 0,37$ м, считая от внутренней поверхности конструкции.

Таблица 11. Определение плоскости максимального увлажнения в конструкции 4

№ слоя	Комплекс $f_i(t_m)$, (°C) ² /Па	Температура в слое $t_{m,i}$, °C	Температура на границах слоя $t_{b,i}$, °C	Плоскость максимального увлажнения	
				в слое	на границах слоя
1	64,4	10,22	19,22	—	—
2	30,3	22,54	19,06	—	—
3	39,2	18,8	17,11	—	—
4	221,3	−9,09	16,95	—	—
5	23,4	25,47	−4,19	—	+
			−4,29	—	—

Таким образом, для широко применяемых в практике строительства ограждающих конструкций с основанием в виде кладки газобетонных блоков с СФТК алгоритм определения плоскости максимального увлажнения согласно п. 8.5 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» дает физически необоснованный результат и нуждается в корректировке.

Определение плоскости максимального увлажнения позволяет выполнить оценку влагозащитных свойств ограждающих конструкций по предельно допустимому состоянию увлажнения. Если плоскость максимального увлажнения расположена в слое утеплителя, то этот слой принимается за увлажняемый. В случае, когда плоскость максимального увлажнения приходится на стык между двумя слоями, параметр $\delta_w \Delta w$ в формуле (2) принимается равным сумме $\delta_{w1} \Delta w_1 + \delta_{w2} \Delta w_2$, где δ_{w1} и δ_{w2} соответствуют половинам толщин стыкующихся слоев. Расчетные параметры материалов увлажняемых слоев ограждающих конструкций приведены в табл. 12.

Таблица 12. Расчетные параметры

Параметр	Обозначение, ед. изм.	Значение параметра	
		утеплитель	наружный защитно- отделочный слой
Плотность материала увлажняемого слоя	ρ_w , кг/м ³	30*	—
Толщина увлажняемого слоя конструкции: в конструкциях 1—3 в конструкции 4	δ_w , м	0,1 0,05	— 0,003
Предельно допустимое приращение влажности в материале увлажняемого слоя за период влагонакопления	Δw , %	25**	2**

* Расчетное значение для рассматриваемой группы теплоизоляционных материалов.

** Ввиду отсутствия фактических данных указанная величина принята согласно табл. 10 СП 50.13330.2012.

3.2 Оценка влагозащитных свойств ограждающих конструкций согласно СП 50.13330.2012

Результаты расчета влагозащитных характеристик рассматриваемых типов ограждающих конструкций согласно СП 50.13330.2012 представлены в табл. 13.

Таблица 13. Результаты расчета влагозащитных характеристик ограждающих конструкций по СП 50.13330.2012

Параметр	Обозначение, ед. изм.	Значение показателя для конструкций			
		1	2	3	4
Требуемое сопротивление паропроницанию: из условия недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации из условия ограничения влаги за период влагонакопления	R_{n1}^{TP} , м ² ·ч·Па/мг	0,433	0,315	0,266	0,128
	R_{n2}^{TP} , м ² ·ч·Па/мг	2,08	1,76	1,53	1,21
Расчетное сопротивление паропроницанию	R_n , м ² ·ч·Па/мг	7,92	11,8	4,86	5,9

Как видно из табл. 13, при сравнении однотипных конструкций 1 и 3 отмечается сближение значений R_n и R_{n1}^{TP} при увеличении сопротивления паропроницанию наружного штукатурного слоя.

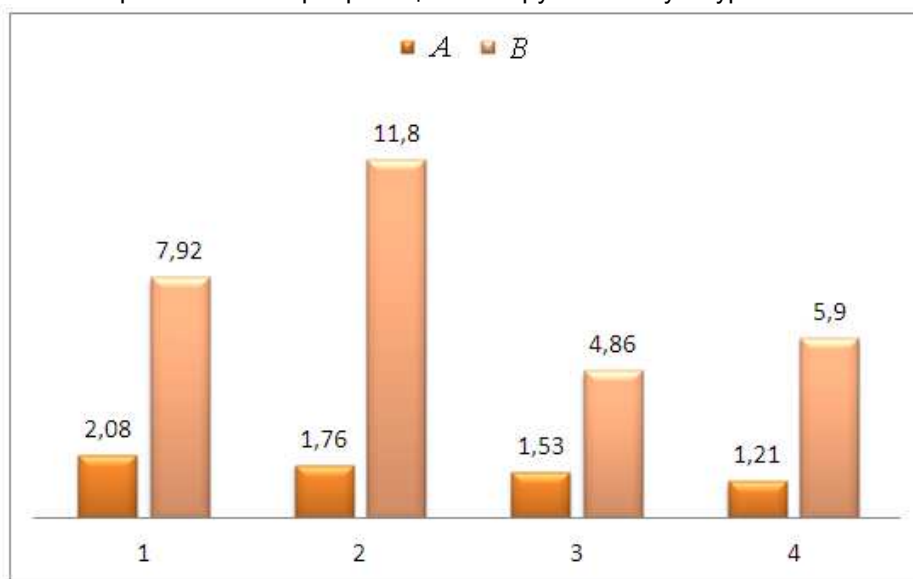


Рисунок 7. Сравнение нормируемого (А) и расчетного (В) сопротивлений паропроницанию рассматриваемых типов ограждающих конструкций согласно СП 50.13330.2012

На основании полученных результатов выполнена оценка влагозащитных свойств ограждающих конструкций согласно СП 50.13330.2012 (рис. 7). За нормируемое сопротивление паропроницанию принято наибольшее из двух сопротивлений R_{n1}^{TP} и R_{n2}^{TP} .

Анализ результатов расчета показывает, что систематического накопления влаги в ограждающих конструкциях за годовой период эксплуатации не происходит, переувлажнение теплоизоляционного слоя за период влагонакопления отсутствует.

По результатам выполненной оценки сделан вывод о соответствии расчетных влагозащитных характеристик всех рассматриваемых типов ограждающих конструкций требуемым согласно п. 8.1 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Устройство дополнительного пароизоляционного слоя в конструкциях не требуется.

3.3 Оценка влажностного режима ограждающих конструкций в годовом цикле согласно СТО 73090654.001–2015 и СТО 03984362.574100.056–2015

Результаты расчета влажностного режима рассматриваемых типов ограждающих конструкций согласно СТО 73090654.001–2015 [17] и СТО 03984362.574100.056–2015 [18] приведены на рис. 8–11.

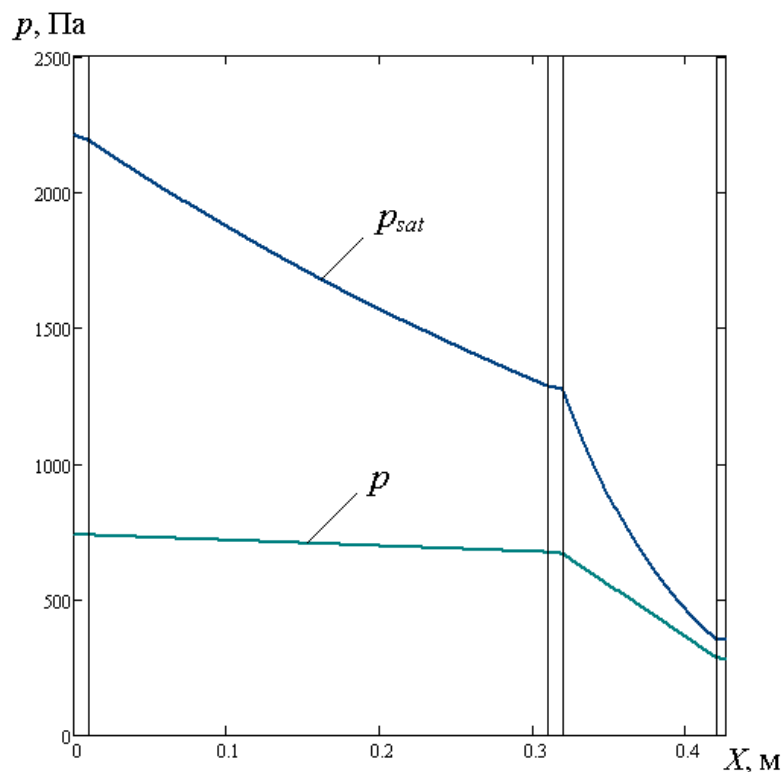


Рисунок 8. Профили парциального давления водяного пара (p) и давления насыщенного водяного пара (p_{sat}) в наиболее холодный месяц года (конструкция 1)

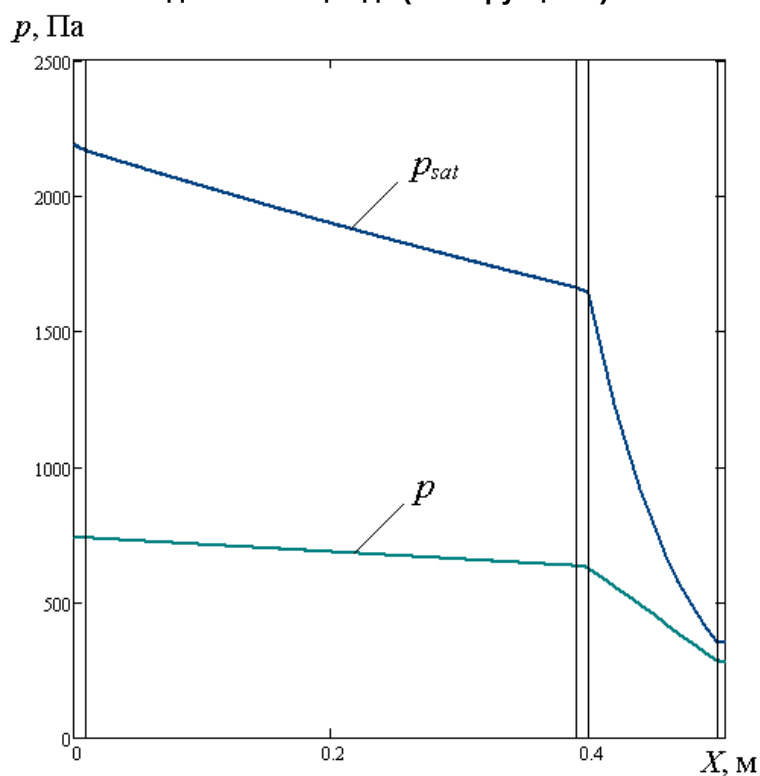


Рисунок 9. Профили парциального давления водяного пара (p) и давления насыщенного водяного пара (p_{sat}) в наиболее холодный месяц года (конструкция 2)

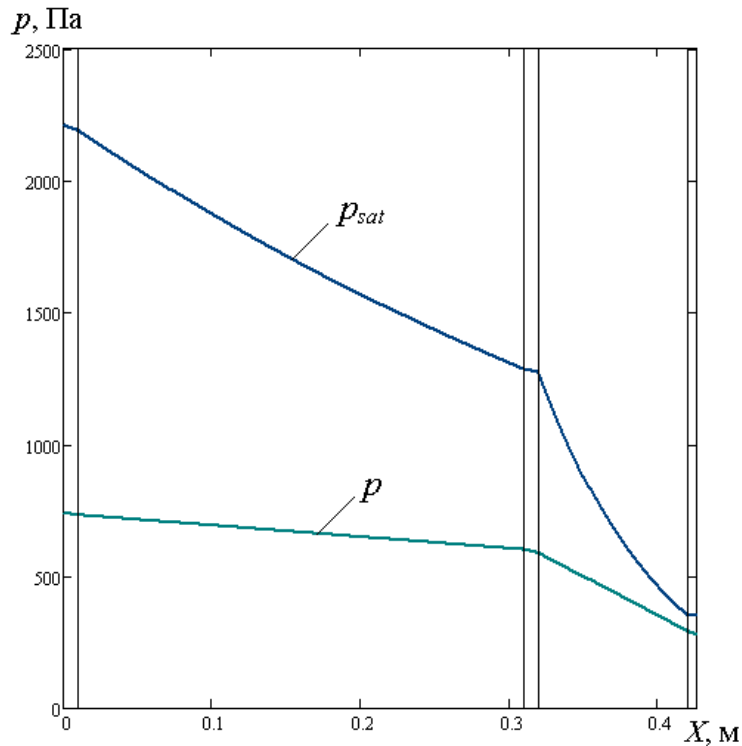


Рисунок 10. Профили парциального давления водяного пара (p) и давления насыщенного водяного пара (p_{sat}) в наиболее холодный месяц года (конструкция 3)

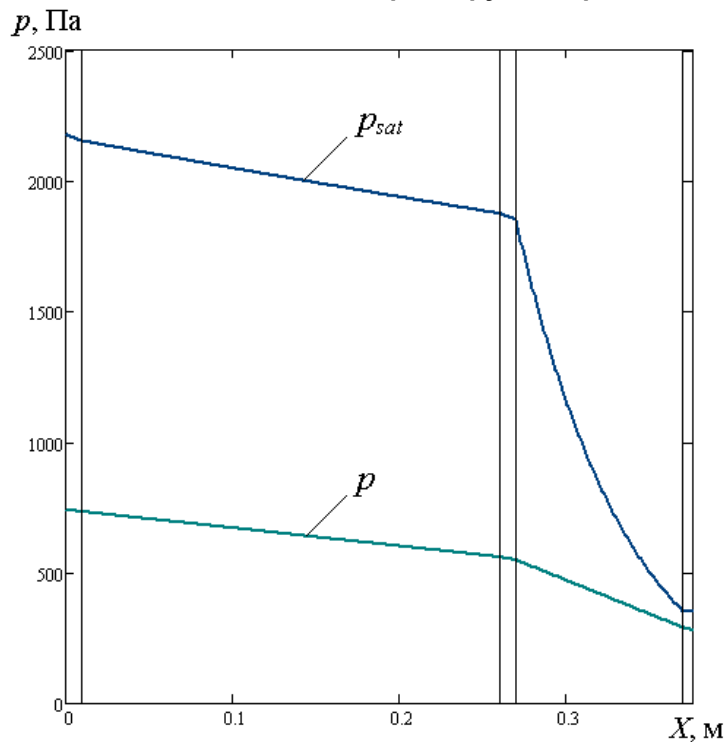


Рисунок 11. Профили парциального давления водяного пара (p) и давления насыщенного водяного пара (p_{sat}) в наиболее холодный месяц года (конструкция 4)

Анализ полученных результатов показывает, что во всех рассматриваемых типах ограждающих конструкций плоскость конденсации влаги в наиболее холодный месяц года отсутствует. В этом случае конденсации влаги в ограждающих конструкциях не происходит. Расчетные влажностные характеристики

рассматриваемых типов ограждающих конструкций отвечают обязательным нормативным требованиям подпунктов «а» и «б» пункта 8.1 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

В дополнение к вышеизложенному следует отметить, что ввиду высокой начальной влажности изделий в зданиях, построенных из газобетонных блоков, в первые годы эксплуатации может наблюдаться значительный перерасход тепловой энергии на отопление здания [29, 30]. Как показали предварительные расчеты, продолжительность сушки наружных стен из газобетонных блоков возрастает при использовании в качестве наружного теплоизоляционного слоя плит из экструзионного пенополистирола, имеющих низкую паропроницаемость. Для нормализации влажностного режима стен начальная влага должна быть удалена из ограждающих конструкций в течение 2–3 лет с момента сдачи объекта в эксплуатацию.

4. Заключение

По результатам расчетной оценки влажностного режима представленных Заказчиком типов наружных стен с фасадными теплоизоляционными композиционными системами установлено следующее:

1. Для широко применяемых в практике строительства ограждающих конструкций с основанием в виде кладки газобетонных блоков с СФТК алгоритм определения плоскости максимального увлажнения согласно п. 8.5 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» дает физически необоснованный результат и нуждается в корректировке.

2. Следует различать понятия «плоскость максимального увлажнения» и «плоскость конденсации», определяющие различные физические процессы в ограждающих конструкциях. Для интерпретации результатов расчета при проектировании ограждающих конструкций рекомендуется дать определение термину «плоскость максимального увлажнения» и включить его в обязательное приложение Б «Термины и определения» СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

3. Расчет защиты от переувлажнения ограждающих конструкций, выполненный согласно базовому методу СП 50.13330.2012, показал, что систематического накопления влаги в ограждающих конструкциях за годовой период эксплуатации не происходит, переувлажнение теплоизоляционного слоя за период влагонакопления отсутствует. Расчетные влагозащитные характеристики всех рассматриваемых типов ограждающих конструкций отвечают требуемым согласно п. 8.1 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Устройство дополнительного пароизоляционного слоя в конструкциях не требуется.

4. Расчет влажностного режима ограждающих конструкций альтернативным методом в годовом цикле согласно СТО 73090654.001–2015 и СТО 03984362.574100.056–2015 показал, что во всех рассматриваемых типах ограждающих конструкций плоскость конденсации влаги в наиболее холодный месяц года отсутствует. В этом случае конденсации влаги в ограждающих конструкциях не происходит.

5. Продолжительность сушки наружных стен из газобетонных блоков возрастает при использовании в качестве наружного теплоизоляционного слоя плит из экструзионного пенополистирола, имеющих низкую паропроницаемость. Для нормализации влажностного режима стен начальная влага должна быть удалена из ограждающих конструкций в течение 2–3 лет с момента сдачи объекта в эксплуатацию.

Литература

- [1]. СТО 58239148–001–2006 «Системы наружной теплоизоляции стен зданий с отделочным слоем из тонкослойной штукатурки «Ceresit». Материалы для проектирования и рабочие чертежи узлов. Инструкция по монтажу. Технические описания».
- [2]. ГОСТ Р 53785–2010 «Системы фасадные теплоизоляционные композиционные с наружными штукатурными слоями. Классификация».
- [3]. Голунов С.А., Сивков С.П. Причины снижения адгезии базовых штукатурных составов к минераловатным плитам в фасадных теплоизоляционных композиционных системах // Строительные материалы. 2012. № 8. С. 72–75.
- [4]. Пашкевич С.А., Голунов С.А., Пустовгар А.П. Методы испытаний штукатурных фасадных покрытий, твердеющих при отрицательных температурах // Вестник МГСУ. 2011. № 3. С. 180–184.
- [5]. СФТК LOBATHERM с облицовкой керамической плиткой: энергоэффективность, долговечность, престиж. Теперь и в России // Сухие строительные смеси. 2015. № 2. С. 9–11.
- [6]. Gnip I., Vėjelis S., Vaitkus S. (2012). Thermal conductivity of expanded polystyrene (EPS) at 10 °C and its conversion to temperatures within interval from 0 to 50 °C. Energy and Buildings. 2012. No. 52. pp. 107–111.
- [7]. Psomas T., Heiselberg P., Duer K., Bjørn E. (2016). Overheating risk barriers to energy renovations of single family houses: Multicriteria analysis and assessment. Energy and Buildings. 2016. No. 117. pp. 138–148.
- [8]. Ficco G., Iannetta F., Ianniello E., d'Ambrosio Alfano F.R., Dell'Isola M. (2015). U-value in situ measurement for energy diagnosis of existing buildings. Energy and Buildings. 2015. No. 104. pp. 108–121.
- [9]. Pargana N., Pinheiro M.D., Silvestre J.D., de Brito J. (2014). Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings. Energy and Buildings. 2014. No. 82. pp. 466–481.
- [10]. Jiang L., Xiao H., An W., Zhou Y., Sun J. (2014). Correlation study between flammability and the width of organic thermal insulation materials for building exterior walls. Energy and Buildings. 2014. No. 82. pp. 243–249.
- [11]. Kosny J., Asiz A., Smith I., Shrestha S., Fallahi A. (2014). A review of high R-value wood framed and composite wood wall technologies using advanced insulation techniques. Energy and Buildings. 2014. No. 72. pp. 441–456.
- [12]. Domínguez-Muñoz F., Anderson B., Cejudo-López J.M., Carrillo-Andrés A. (2010). Uncertainty in the thermal conductivity of insulation materials. Energy and Buildings. 2010. No. 42 (11). pp. 2159–2168.
- [13]. Pasztory Z., Peralta P.N., Peszlen I. (2011). Multi-layer heat insulation system for frame construction buildings. Energy and Buildings. 2011. No. 43 (2–3). pp. 713–717.
- [14]. Yun T.S., Jeong Y.J., Han T.–S., Youm K.–S. (2013). Evaluation of thermal conductivity for thermally insulated concretes. Energy and Buildings. 2013. No. 61. pp. 125–132.
- [15]. Feng Y. (2004). Thermal design standards for energy efficiency of residential buildings in hot summer / cold winter zones. Energy and Buildings. 2004. No. 36 (12). pp. 1309–1312.
- [16]. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».
- [17]. СТО 73090654.001–2015 «Оценка влажностного режима ограждающих конструкций в годовом цикле».
- [18]. СТО 03984362.574100.056–2015 «Оценка влажностного режима ограждающих конструкций в годовом цикле».
- [19]. Гагарин В.Г., Зубарев К.П., Козлов В.В. Определение зоны наибольшего увлажнения в стенах с фасадными теплоизоляционными композиционными системами с наружными штукатурными слоями // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 1 (54). С. 125–132.
- [20]. Корниенко С.В. О применимости методики СП 50.13330.2012 к расчету влажностного режима ограждающих конструкций с мультizonальной конденсацией влаги // Строительство и реконструкция. 2014. № 5 (55). С. 29–37.
- [21]. Корниенко С.В. Предложения по корректировке СП 50.13330.2012 в части защиты от переувлажнения ограждающих конструкций // Жилищное строительство. 2015. № 7. С. 31–34.
- [22]. Корниенко С.В. Метод решения трехмерной задачи совместного нестационарного тепло- и влагопереноса для ограждающих конструкций зданий // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2006. № 2. С. 108–110.
- [23]. Корниенко С.В. Инженерный метод определения плоскости наибольшего увлажнения для ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2007. № 6. С. 50–51.

- [24]. Богословский В.Н. Основы теории потенциала влажности материала применительно к наружным ограждениям оболочки зданий: монография / В.Н. Богословский; под ред. В.Г. Гагарина. М.: МГСУ, 2013. 112 с.
- [25]. Федеральный закон № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
- [26]. Международный стандарт ISO/FDIS 13788 «Hygrothermal performance of building components and building elements — Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation — Calculation methods».
- [27]. Корниенко С.В. Оценка влагонакопления в ограждающих конструкциях зданий в годовом цикле // Энергобезопасность и энергосбережение. 2015. № 4. С. 12–17.
- [28]. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».
- [29]. Ватин Н.И., Горшков А.С., Корниенко С.В., Пестряков И.И. Потребительские свойства стеновых изделий из автоклавного газобетона // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 1 (40). С. 78–101.
- [30]. Горшков А.С., Ватин Н.И., Корниенко С.В., Пестряков И.И. Соответствие стен из автоклавного газобетона современным требованиям по тепловой защите зданий // Энергосбережение. 2016. № 2. С. 41–53.с

Assessment of moisture conditions of walls with façade's thermo-insulation composite systems with external mortar layers

S.V. Korniyenko ^{1*}, N. I. Vatin ², A.S. Gorshkov ³

¹⁻³ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

scientific article

doi:

Article history

Received 25 May 2016

Keywords

long span structure;
plane frame work;
space frame;
cross shaped frame;
lenticular frame;
ration depth;
comparative analysis;

ABSTRACT

In this paper the assessment of moisture conditions of four types of walls with façade's thermo-insulation composite systems with external mortar layers is executed. It is shown that for wall products from AAC algorithm of calculation of the maximum moistening interface according to the Russian norm SP 50.13330.2012 "Thermal protection of buildings" yields physically unreasonable result and needs adjustment. It is necessary to distinguish the concepts "maximum moistening interface" and "moisture condensation interface" defining various physical processes in the building components. The calculation of protection against remoistening of the building components executed according to basic method SP 50.13330.2012 has shown that systematic accumulation of moisture in the building components during the annual period is absent; remoistening of heat-insulation layer during moisture accumulation period is absent also. The device of an additional vapour protection layer in this constructions isn't required. Calculation of moisture conditions of the building components by alternative method in the annual cycle has shown that in all considered types of the structures the moisture condensation interface in the coldest month of year is absent. In this case condensation of moisture in the building components is absent. Duration of drying of external walls from AAC increases when using as external heat-insulation layer made the plates from extrusive expanded polystyrene having low vapor permeability. For normalization of moisture conditions of walls initial moisture have to be removed from the building components within 2–3 years from the moment of commissioning of the object.

Corresponding author:

- 1*. +7(988)4912459, svkorn2009@yandex.ru (Sergey Valerievich Korniyenko, Ph.D., Associate Professor)
2. +7(921)9643762, vatin@mail.ru (Nikolai Ivanovich Vatin, Ph.D., Professor)
3. +7(921)3884315, alsgor@yandex.ru (Alexander Sergeevich Gorshkov, Ph.D., Associate Professor)

References

- [1]. STO 58239148–001–2006 «Sistemy naruzhnoy teploizolyatsii sten zdaniy s otdelochnym sloyem iz tonkosloynoy shtukaturki «Ceresit». Materialy dlya proyektirovaniya i rabochiye chertezhi uzlov. Instruksiya po montazhu. Tekhnicheskiye opisaniya» [External thermal insulation composite systems with rendering «Ceresit». Guideline for technical approval]. (rus)
- [2]. GOST R 53785–2010 «Sistemy fasadnyye teploizolyatsionnyye kompozitsionnyye s naruzhnymi shtukaturnymi sloyami. Klassifikatsiya» [Façade's thermo-insulation composite systems with external mortar layers. Classification]. (rus)
- [3]. Golunov S.A., Sivkov S.P. Prichiny snizheniya adgezii bazovykh shtukaturnykh sostavov k mineralovatnym plitam v fasadnykh teploizolyatsionnykh kompozitsionnykh sistemakh [Reasons for Decrease of Adhesion of Basic Plaster Compositions to Mineral Wool Slabs in Façade Heat Insulation Composition Systems]. Stroitelnyye materialy. 2012. No. 8. pp. 72–75. (rus)
- [4]. Pashkevich S.A., Golunov S.A., Pustovgar A.P. Metody ispytaniy shtukaturnykh fasadnykh pokrytiy, tverdeyushchikh pri otritsatelnykh temperaturakh [The etics mortars tests at negative temperature]. Vestnik MGSU. 2011. No. 3. pp. 180–184. (rus)
- [5]. SFTK LOBATHERM s oblitovkoy keramicheskoy plitkoy: energoeffektivnost, dolgovechnost, prestizh. Teper i v Rossii. Sukhiye stroitelnyye smesi. 2015. No. 2. pp. 9–11. (rus)
- [6]. Gnip I., Vėjelis S., Vaitkus S. (2012). Thermal conductivity of expanded polystyrene (EPS) at 10 °C and its conversion to temperatures within interval from 0 to 50 °C. Energy and Buildings. 2012. No. 52. pp. 107–111.
- [7]. Psomas T., Heiselberg P., Duer K., Bjørn E. (2016). Overheating risk barriers to energy renovations of single family houses: Multicriteria analysis and assessment. Energy and Buildings. 2016. No. 117. pp. 138–148.
- [8]. Ficco G., Iannetta F., Ianniello E., d'Ambrosio Alfano F.R., Dell'Isola M. (2015). U-value in situ measurement for energy diagnosis of existing buildings. Energy and Buildings. 2015. No. 104. pp. 108–121.
- [9]. Pargana N., Pinheiro M.D., Silvestre J.D., de Brito J. (2014). Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings. Energy and Buildings. 2014. No. 82. pp. 466–481.
- [10]. Jiang L., Xiao H., An W., Zhou Y., Sun J. (2014). Correlation study between flammability and the width of organic thermal insulation materials for building exterior walls. Energy and Buildings. 2014. No. 82. pp. 243–249.
- [11]. Kosny J., Asiz A., Smith I., Shrestha S., Fallahi A. (2014). A review of high R-value wood framed and composite wood wall technologies using advanced insulation techniques. Energy and Buildings. 2014. No. 72. pp. 441–456.
- [12]. Domínguez-Muñoz F., Anderson B., Cejudo-López J.M., Carrillo-Andrés A. (2010). Uncertainty in the thermal conductivity of insulation materials. Energy and Buildings. 2010. No. 42 (11). pp. 2159–2168.
- [13]. Pasztory Z., Peralta P.N., Peszlen I. (2011). Multi-layer heat insulation system for frame construction buildings. Energy and Buildings. 2011. No. 43 (2–3). pp. 713–717.
- [14]. Yun T.S., Jeong Y.J., Han T.–S., Youm K.–S. (2013). Evaluation of thermal conductivity for thermally insulated concretes. Energy and Buildings. 2013. No. 61. pp. 125–132.
- [15]. Feng Y. (2004). Thermal design standards for energy efficiency of residential buildings in hot summer / cold winter zones. Energy and Buildings. 2004. No. 36 (12). pp. 1309–1312.
- [16]. SP 50.13330.2012 «Teplovaya zashchita zdaniy» [Thermal performance of the buildings]. (rus)
- [17]. STO 73090654.001–2015 «Otsenka vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruktsiy v godovom tsikle» [Assessment of moisture conditions of the building components in the annual cycle]. (rus)
- [18]. STO 03984362.574100.056–2015 «Otsenka vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruktsiy v godovom tsikle» [Assessment of moisture conditions of the building components in the annual cycle]. (rus)
- [19]. Gagarin V.G., Zubarev K.P., Kozlov V.V. Opredeleniye zony naibolshego uvlazhneniya v stenakh s fasadnymi teploizolyatsionnymi kompozitsionnymi sistemami s naruzhnymi shtukaturnymi sloyami [The highest moisture area in façade heat-insulation composite wall systems with external plastering]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2016. No. 1 (54). pp. 125–132. (rus)
- [20]. Korniyenko S.V. O primenimosti metodiki SP 50.13330.2012 k raschetu vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruktsiy s multizonalnoy kondensatsiyey vlagi [About applicability of SP 50.13330.2012 method to calculation of moisture conditions of enclosing structures with multi-zone moisture condensation]. Stroitelstvo i rekonstruktsiya. 2014. No. 5 (55). pp. 29–37. (rus)

- [21]. Korniyenko S.V. Predlozheniya po korrektyrovke SP 50.13330.2012v chasti zashchity ot pereuvlazhneniya ograzhdayushchikh konstruksiy [Suggestions about correction of SP 50.13330.2012 concerning protection of enclosing structures against overwetting]. Zhilishchnoye stroitelstvo. 2015. No. 7. pp. 31–34. (rus)
- [22]. Korniyenko S.V. Metod resheniya trekhmernoy zadachi sovmestnogo nestatsionarnogo teplo- i vlagoperenosa dlya ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy [Method of three-dimensional simultaneous non standard problem solution with heat and moisture transfer for enclosing structures of buildings]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo. 2006. No. 2. pp. 108–110. (rus)
- [23]. Korniyenko S.V. Inzhenernyy metod opredeleniya ploskosti naibolshego uvlazhneniya dlya ograzhdayushchikh konstruksiy [Engineering method of calculation the greatest moistening plane for building components]. Stroitelnyye materialy. 2007. No. 6. pp. 50–51. (rus)
- [24]. Bogoslovskiy V.N. Osnovy teorii potentsiala vlazhnosti materiala primenitelno k naruzhnym ograzhdeniyam obolochki zdaniy [Humidity potential theory bases for building components]. Moscow: MGSU, 2013. 112 p. (rus)
- [25]. Federalnyy zakon № 384–FZ «Tekhnicheskiy reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy» [Technical regulations about safety of buildings and constructions]. (rus)
- [26]. Mezhdunarodnyy standart ISO/FDIS 13788 «Hygrothermal performance of building components and building elements — Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation — Calculation methods».
- [27]. Korniyenko S.V. Otsenka vlagonakopleniya v ograzhdayushchikh konstruksiyakh zdaniy v godovom tsikle [Estimation of humidity accumulation in buildings' external wall surfaces in the annual cycle]. Energobezopasnost i energosberezheniye. 2015. No. 4. pp. 12–17. (rus)
- [28]. SP 131.13330.2012 «Stroitel'naya klimatologiya» [Building climatology]. (rus)
- [29]. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Korniyenko S.V., Pestryakov I.I. Potrebitelskiye svoystva stenovykh izdeliy iz avtoklavno go gazobetona [The consumer properties of wall products from AAC]. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2016. No. 1 (40). pp. 78–101. (rus)
- [30]. Gorshkov A.S., Vatin N.I., Korniyenko S.V., Pestryakov I.I. Sootvetstviye sten iz avtoklavno go gazobetona sovremennym trebovaniyam po teplovoy zashchite zdaniy [Conformity of steam cured expanded concrete walls to the modern requirements for building thermal protection]. Energobezopasnost i energosberezheniye. 2016. No. 2. pp. 41–53. (rus)

Данная статья публикуется в рамках работы по проекту

Erasmus+ 561890-EPP-1-2015-1-IT_EPPKA2-CBHE-JP

The article is published in the framework of project

Erasmus+ 561890-EPP-1-2015-1-IT_EPPKA2-CBHE-JP

Корниенко С.В., Ватин Н.И., Горшков А.С., Оценка влажностного режима стен с фасадными теплоизоляционными композиционными системами // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №6 (45). С. 34-54

Korniyenko S.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S. Assessment of moisture conditions of walls with facade's thermo-insulation composite systems with external mortar layers. Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 6 (45), Pp. 34-54 (rus)