

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле

С.В. Корниенко¹, Н.И. Ватин², М.Р. Петриченко³, А.С. Горшков⁴

¹ Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 400074,

Россия, Волгоград, ул. Академическая, 1

²⁻⁵ ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 195251,

Россия, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Информация о статье

УДК 699.8

Научная статья

История

Подана в редакцию 26 марта 2015
Принята 22 мая 2015

Ключевые слова

многослойная стена,
воздушная прослойка,
теплоизоляция,
парциальное давление водяного
пара,
влагонакопление,
плоскость конденсации

АННОТАЦИЯ

Актуальной проблемой архитектуры и строительства является улучшение влажностного режима современных ограждающих конструкций с повышенными теплозащитными свойствами. В статье представлена оценка влажностного режима трехслойной стеновой конструкции с наружным слоем из лицевого керамического кирпича, с использованием теплоизоляционных изделий из стеклянного штапельного волокна марки TS 034–Aquastatik производства ООО «КНАУФ Инсулейшн». Расчеты выполнены для двух пунктов — Санкт-Петербурга и Казани, отличающихся по наружным климатическим данным и условиям эксплуатации наружных ограждающих конструкций. Рассмотрены два варианта расчета — с невентилируемой и с хорошо-вентилируемой воздушной прослойкой, расположенной между теплоизоляционным слоем и лицевым слоем кирпичной кладки. Для сравнительной оценки влажностного режима указанных вариантов конструктивное исполнение наружных стен принято идентичным, с одной и той же толщиной теплоизоляционного слоя (150 мм). Показано, что наружный климат оказывает влияние на влажностный режим наружных стен, создавая прирост влаги в конструкции с невентилируемой воздушной прослойкой в период влагонакопления. Использование в конструкциях наружных стен хорошо-вентилируемой воздушной прослойки позволяет значительно улучшить влажностный режим ограждающих конструкций в различных влажностно-климатических зонах и рекомендуется для практического применения.

Содержание

1.	Введение	20
2.	Объект и методы исследования	20
3.	Постановка цели и задачи исследования	21
4.	Заключение	28

Контактный автор:

- +7 (988) 4912 459, svkorn2009@yandex.ru (Корниенко Сергей Валерьевич, канд. техн. наук, доцент)
- +7 (921) 9643 762, vatin@mail.ru (Ватин Николай Иванович, д-р техн. наук, профессор)
- +7 (921) 3300 429, fonpetrich@mail.ru (Петриченко Михаил Романович, д-р техн. наук, профессор)
- +7 (921) 3884 315, alsgor@yandex.ru (Горшков Александр Сергеевич, канд. техн. наук, доцент)

1. Введение

Актуальной проблемой архитектуры и строительства является улучшение влажностного режима современных ограждающих конструкций с повышенными теплозащитными свойствами [1—15].

В статье представлена оценка влажностного режима трехслойной стеновой конструкции с наружным слоем из лицевого керамического кирпича, с использованием теплоизоляционных изделий из стеклянного штапельного волокна марки TS 034—Aquastatik производства ООО «КНАУФ Инсулейшн». С точки зрения теплозащиты такие конструкции являются перспективными в строительстве. Однако их влажностный режим в настоящее время малоизучен. Этим определяется актуальность данной работы.

Расчеты выполнены для двух пунктов — Санкт-Петербурга и Казани, отличающихся по наружным климатическим данным и условиям эксплуатации наружных ограждающих конструкций. Рассмотрены два варианта расчета — с невентилируемой и с хорошо-вентилируемой воздушной прослойкой [16], расположенной между теплоизоляционным слоем и лицевым слоем кирпичной кладки. Для сравнительной оценки влажностного режима указанных вариантов конструктивное исполнение наружных стен принято идентичным, с одной и той же толщиной теплоизоляционного слоя (150 мм).

Показано, что использование в конструкциях наружных стен хорошо-вентилируемой воздушной прослойки позволяет значительно улучшить влажностный режим ограждающих конструкций в различных влажностно-климатических зонах и рекомендуется для практического применения.

2. Объект и методы исследования

Объектом исследования является многослойная наружная стеновая конструкция с облицовочным кирпичным слоем. С целью оценки влияния конструктивного решения наружных стен на их влажностный режим расчет выполнен для двух вариантов конструктивного исполнения ограждения:

- с невентилируемой воздушной прослойкой (вариант 1);
- с хорошо-вентилируемой воздушной прослойкой (вариант 2).

Воздушную прослойку следует рассматривать как невентилируемую (замкнутую) в случае, если отсутствуют отверстия в слое, расположенном между воздушной прослойкой и наружной средой, либо имеют место незначительные отверстия, площадь которых не превышает (см. п. 5.3.2 стандарта ISO 6946 [16]):

500 мм² на 1 погонный метр протяженности фасада для вертикальной воздушной прослойки (при горизонтальном направлении воздушного потока);

500 мм² на 1 м² площади поверхности горизонтальной воздушной прослойки.

Примечание. Дренажные отверстия (weep holes) в виде незаполненных раствором вертикальных швов в лицевом слое из кирпича обычно удовлетворяют указанным выше критериям и по этой причине могут не рассматриваться как вентиляционные отверстия.

Хорошо-вентилируемой воздушной прослойкой называется воздушная полость с открытыми отверстиями между ней и наружной средой, площадь отверстий которой составляет (см. п. 5.3.4 стандарта ISO 6946 [16]):

более 1500 мм² на 1 погонный метр протяженности фасада для вертикальной воздушной прослойки (при горизонтальном направлении воздушного потока);

более 1500 мм² на 1 м² площади поверхности горизонтальной воздушной прослойки.

Примечание. При наличии в составе ограждающей конструкции хорошо-вентилируемой воздушной прослойки ее термическое сопротивление, а также термическое сопротивление слоев, расположенных между прослойкой и наружной средой, при расчете общего сопротивления теплопередаче не учитывается.

Указанные варианты конструктивного решения наружных стен приняты в соответствии с заданием заказчика (рисунки 1, 2).

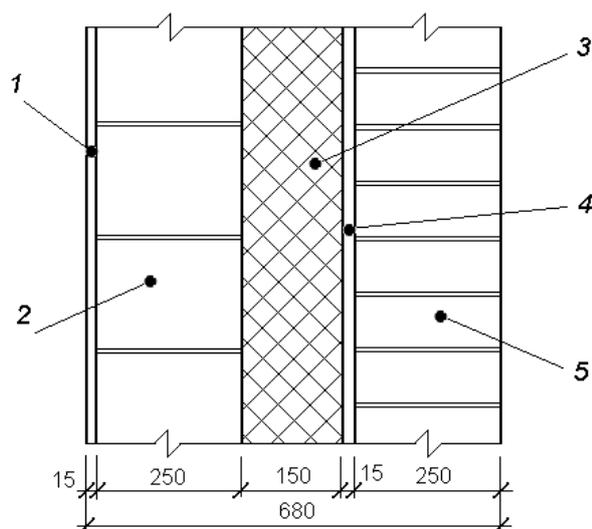


Рисунок 1. Расчетная схема наружной стены с неventилируемой воздушной прослойкой: 1 — внутренняя штукатурка; 2 — внутренний слой кирпичной кладки; 3 — теплоизоляция; 4 — неventилируемая воздушная прослойка (технологический зазор); 5 — лицевой кирпичный слой

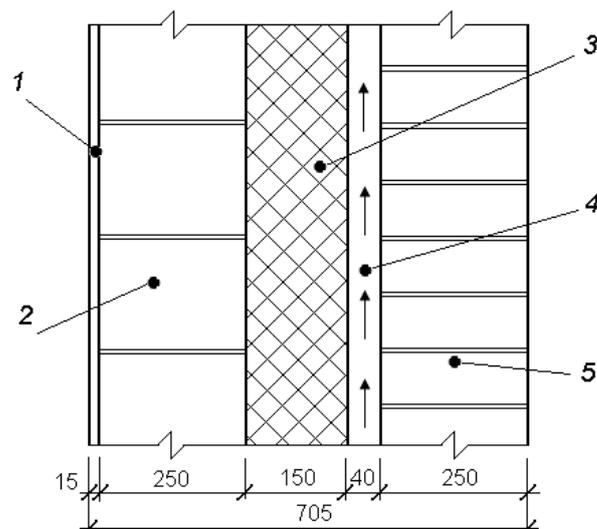


Рисунок 2. Расчетная схема наружной стены с хорошо-ventилируемой воздушной прослойкой: 1 — внутренняя штукатурка; 2 — внутренний слой кирпичной кладки; 3 — теплоизоляция; 4 — воздушная прослойка, ventилируемая наружным воздухом; 5 — лицевой кирпичный слой

3. Постановка цели и задачи исследования

3.1. Исходные данные для расчета

Исходными данными для расчета являются:

- параметры наружного климата (среднемесячные значения температуры и относительной влажности наружного воздуха);
- параметры микроклимата в помещении (среднемесячные значения температуры и относительной влажности внутреннего воздуха);
- теплотехнические показатели материалов ограждающей конструкции, необходимые для расчета;
- граничные условия.

3.1.1. Параметры наружного климата

Среднемесячные значения температуры наружного воздуха для указанных пунктов строительства приняты согласно СП 131.13330.2012 [18]. Ввиду отсутствия в указанном документе данных по среднемесячным значениям относительной влажности наружного воздуха эти характеристики приняты в соответствии со справочными данными СНиП II–А.6–72 [19]. Параметры наружного климата (температура t_{ext} и относительная влажность воздуха φ_{ext}) приведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры наружного климата для расчета влажностного режима ограждающей конструкции

Месяц	Параметры наружного климата			
	Санкт-Петербург		Казань	
	t_{ext} °C	φ_{ext}	t_{ext} °C	φ_{ext}
Январь	–6,6	0,86	–11,6	0,84
Февраль	–6,3	0,84	–10,9	0,81
Март	–1,5	0,78	–4,3	0,80
Апрель	4,5	0,73	5,3	0,73
Май	10,9	0,66	13,2	0,62

Месяц	Параметры наружного климата			
	Санкт-Петербург		Казань	
	t_{ext} °C	Φ_{ext}	t_{ext} °C	Φ_{ext}
Июнь	15,7	0,68	17,6	0,62
Июль	18,3	0,71	19,7	0,68
Август	16,7	0,77	17,4	0,71
Сентябрь	11,4	0,81	11,5	0,75
Октябрь	5,7	0,84	4,2	0,81
Ноябрь	0,2	0,87	-3,2	0,84
Декабрь	-3,9	0,88	-8,9	0,85

3.1.2. Параметры микроклимата в помещении

Среднемесячные значения температуры и относительной влажности внутреннего воздуха вычислены в соответствии с методикой Стандарта ISO 13788 [17] в зависимости от температуры наружного воздуха.

Параметры микроклимата в помещении (температура t_{int} и относительная влажность внутреннего воздуха Φ_{int}) приведены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры микроклимата в помещении для расчета влажностного режима ограждающей конструкции

Месяц	Параметры микроклимата в помещении			
	Санкт-Петербург		Казань	
	t_{int} °C	Φ_{int}	t_{int} °C	Φ_{int}
Январь	20,0	0,33	20,0	0,30
Февраль	20,0	0,34	20,0	0,30
Март	20,0	0,39	20,0	0,36
Апрель	20,0	0,45	20,0	0,45
Май	20,5	0,51	21,6	0,53
Июнь	22,9	0,56	23,8	0,58
Июль	24,2	0,58	24,9	0,60
Август	23,4	0,57	23,7	0,57
Сентябрь	20,7	0,51	20,8	0,52
Октябрь	20,0	0,46	20,0	0,44
Ноябрь	20,0	0,40	20,0	0,37
Декабрь	20,0	0,36	20,0	0,31

3.1.3. Расчетные теплотехнические характеристики материалов

Расчетные теплотехнические характеристики материалов ограждающей конструкции приведены в таблице 3.

Таблица 3. Расчетные теплотехнические характеристики материалов

Номер слоя	Материал	Плотность материала в сухом состоянии ρ_0 , кг/м ³	Теплопроводность λ , Вт/(м·К), при условиях эксплуатации		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
			А	Б	
1	Раствор сложный	1700	0,7	0,87	0,098
2	Кладка из камня пустотелого 2,1 НФ ($\rho_0 = 800$ кг/м ³) на цементно-песчаном растворе (ГОСТ 530–2012)	960	0,27	0,35	0,14
3	Плиты теплоизоляционные из стеклянного штапельного волокна «КНАУФ Инсулейшн» марки TS 034–Aquastatik	22,2	0,037	0,039	0,389
4	Воздушная прослойка	—	—	—	—
5	Кладка из кирпича пустотелого ($\rho_0 = 1400$ кг/м ³) на цементно-песчаном растворе (ГОСТ 530–2012)	1480	0,49	0,55	0,13

Примечание. Согласно требованиям п. 9.32 СП 15.13330 [25] в конструкциях со средним слоем из эффективного утеплителя и гибким соединением слоев следует предусматривать применение лицевого кирпичного слоя толщиной 250 мм.

Теплопроводность материалов принята согласно СП 50.13330 [20] в зависимости от условий эксплуатации ограждающих конструкций. Условия эксплуатации ограждающих конструкций определяются влажностным режимом помещения и зоной влажности. На основании данных СП 54.13330 [21] (п. 9.3) влажностный режим помещений сухой (при температуре внутреннего воздуха 20 °С и относительной влажности 50 %). Согласно СП 131.13330.2012 Санкт-Петербург находится во влажной зоне, Казань — в нормальной. Условия эксплуатации ограждающих конструкций: для Санкт-Петербурга — Б, для Казани — А.

Расчетные теплотехнические показатели материалов ограждающих конструкций, приведенные в табл. 3, приняты на основании следующих нормативно-инструктивных документов:

для слоя 1 — согласно табл. Т.1 СП 50.13330 [20];

для слоя 2 — согласно табл. Г.1 ГОСТ 530 [22];

для слоя 3: теплопроводность — по протоколу сертификационных испытаний НИИСФ РААСН от 05.08.2011 № 72 [23], паропроницаемость — по протоколу испытаний от 19.03.2010 № 603/ГС [24] (испытательный центр «Политест»);

для слоя 4: термическое сопротивление невентилируемой воздушной прослойки (вариант 1) принято равным 0,15 м²·К/Вт (табл. Е.1 СП 50.13330 [20]), сопротивление паропроницанию равно нулю (прим. 1 к п. 8.7 СП 50.13330 [20]); влияние хорошо-вентилируемой воздушной прослойки (вариант 2) учтено при задании граничных условий (п. 3.1.4);

для слоя 5 — согласно табл. Г.1 ГОСТ 530 [22].

3.1.4. Граничные условия

Граничные условия включают в себя сопротивления тепло- и влагообмену у внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции.

Сопротивление теплообмену у внутренней поверхности ограждающих конструкций принято согласно табл. 2 ISO 13788 [17] (при горизонтальном направлении теплового потока), $R_{si} = 0,13$ м²·К/Вт.

Сопротивление теплообмену у наружной поверхности ограждающих конструкций принято согласно п. 4.4.1 ISO 13788 [17]: по варианту 1 — $R_{se} = 0,04$ м²·К/Вт; по варианту 2 — $R_{se} = 0,1$ м²·К/Вт. Согласно ISO

13788 [17] при использовании хорошо-вентилируемой воздушной прослойки слои конструкции, лежащие между прослойкой и наружным воздухом, в расчете не учитываются.

В соответствии с п. 4.4.2 ISO 13788 [17] сопротивление влагообмену у внутренней и наружной поверхностей ограждений принимается равным нулю.

3.2. Алгоритм расчета

За начало расчета принят октябрь.

Расчет влажностного режима ограждений в годовом цикле производится в следующей последовательности.

1. Определяются зоны конденсации и плоскости конденсации влаги в ограждающей конструкции в наиболее холодный месяц года.

Зона конденсации влаги — участок ограждающей конструкции, на котором выполняется условие конденсации влаги: $p > p_{sat}$.

Плоскость конденсации влаги — сечение ограждающей конструкции в зоне конденсации, в котором отклонение p от p_{sat} достигает максимального значения.

В принятой методике определение плоскости конденсации влаги производится на основании расчета профиля давления насыщенного водяного пара, определяемого по профилю температуры, и профиля парциального давления водяного пара в ограждении.

Зависимость давления насыщенного водяного пара от температуры описывается эмпирической формулой (см. справочное прил. Е ISO 13788 [17]):

$$p_{sat}(t) = \begin{cases} 610,5 \exp\left(\frac{17,269t}{237,3+t}\right), & t \geq 0^\circ\text{C}; \\ 610,5 \exp\left(\frac{21,875t}{265,5+t}\right), & t < 0^\circ\text{C}. \end{cases}$$

При построении профилей $p_{sat}(x)$ и $p(x)$ отсчет производится от внутренней поверхности конструкции.

В данном расчете предполагается наличие не более одной плоскости конденсации влаги.

2. Для каждого месяца года находится количество влаги, накапливаемой в плоскости конденсации, определенной в п. 1 алгоритма расчета, на основании баланса влаги для сечения, определяющего эту плоскость.

Плотность потока влаги g_i , мг/(м²·ч), приходящей к плоскости конденсации, определяется по формуле:

$$g_i = \frac{p_{int} - p_{sat}^*}{R_{vi}}, \quad (1)$$

где p_{int} — среднемесячное парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, определяемое по формуле:

$$p_{int} = \varphi_{int} p_{sat}(t_{int}), \quad (2)$$

p_{sat}^* — значение давления насыщенного водяного пара в плоскости конденсации влаги; R_{vi} — сопротивление паропрооницанию на участке от внутреннего воздуха до плоскости конденсации влаги.

Плотность потока влаги g_e , мг/(м²·ч), уходящей от плоскости конденсации, определяется по формуле:

$$g_e = \frac{p_{sat}^* - p_{ext}}{R_{ve}}, \quad (3)$$

где p_{ext} — среднемесячное парциальное давление водяного пара наружного воздуха, определяемое по формуле:

$$p_{ext} = \varphi_{ext} p_{sat}(t_{ext}), \quad (4)$$

R_{ve} — сопротивление паропрооницанию на участке от плоскости конденсации влаги до наружного воздуха.

Приращение влаги Δg , кг/м², в плоскости конденсации за месяц определяется по разности плотностей потока влаги, приходящей к этой плоскости, и уходящей от нее, по формуле:

$$\Delta g = 24 \cdot 10^{-6} (g_i - g_e) z_m, \quad (5)$$

где z_m — число суток в данном месяце.

3. Определяется количество влаги, накопленной в ограждении с начала расчета.

4. По годовому балансу влаги выполняется оценка влажностного режима ограждения.

3.3. Результаты расчета и обсуждение

3.3.1. Конструкция с неветилируемой воздушной прослойкой, Санкт-Петербург

Определение плоскости конденсации влаги в наиболее холодный месяц года для ограждающей конструкции по варианту 1 для Санкт-Петербурга представлено на рисунке 3.

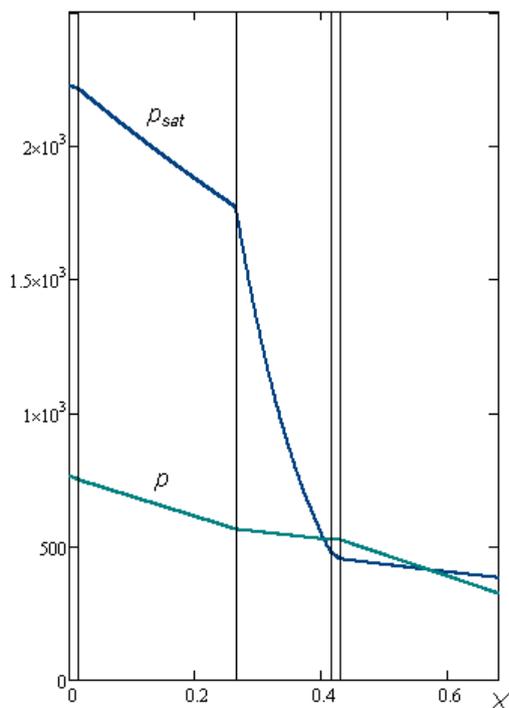


Рисунок 3. Профили давления насыщенного водяного пара $p_{sat}(x)$ и парциального давления водяного пара $p(x)$ по варианту 1 для Санкт-Петербурга (январь)

Из рисунка 3 видно, что в рассматриваемой конструкции плоскость конденсации влаги расположена на стыке неветилируемого воздушного зазора и наружного слоя кирпичной кладки. Координата плоскости конденсации влаги $x = 0,43$ м. В этой плоскости отклонение p от p_{sat} равно 71,044 Па.

Результаты расчета влажностного режима наружной стены в годовом цикле приведены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты расчета влажностного режима наружной стены в годовом цикле для Санкт-Петербурга (вариант 1)

Месяц	Приращение влаги в течение месяца, $\text{кг}/\text{м}^2$	Количество влаги с начала расчета, $\text{кг}/\text{м}^2$
Октябрь	-0,067640	0
Ноябрь	$6,09351 \cdot 10^{-3}$	$6,09351 \cdot 10^{-3}$
Декабрь	0,0412	0,04729
Январь	0,05023	0,09752
Февраль	0,04609	0,14361
Март	$7,46311 \cdot 10^{-3}$	0,15107
Апрель	-0,08104	0,07003
Май	-0,24876	0
Июнь	-0,34185	0
Июль	-0,39531	0
Август	-0,30258	0
Сентябрь	-0,18582	0

Результаты расчета показывают, что в период с ноября по март в рассматриваемой конструкции происходит влагонакопление. Максимальное приращение влаги в конструкции за месяц отмечается в январе ($0,05023 \text{ кг}/\text{м}^2$), максимальное количество влаги с начала расчета — в марте ($0,15107 \text{ кг}/\text{м}^2$). Анализ годового баланса влаги показывает, что систематического влагонакопления в конструкции в течение года не происходит. Вместе с тем, в период влагонакопления отмечается прирост влаги в конструкции.

3.3.2. Конструкция с хорошо-ветилируемой воздушной прослойкой, Санкт-Петербург

Определение плоскости конденсации влаги в наиболее холодный месяц года для ограждающей конструкции по варианту 2 для Санкт-Петербурга представлено на рисунке 4.

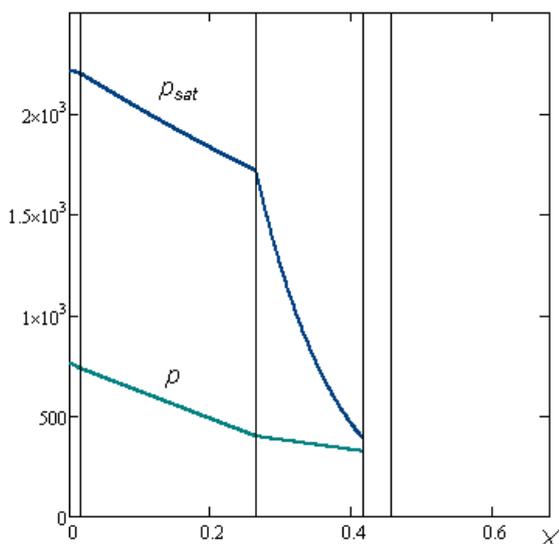


Рисунок 4. Профили давления насыщенного водяного пара $p_{sat}(x)$ и парциального давления водяного пара $p(x)$ по варианту 2 для Санкт-Петербурга (январь)

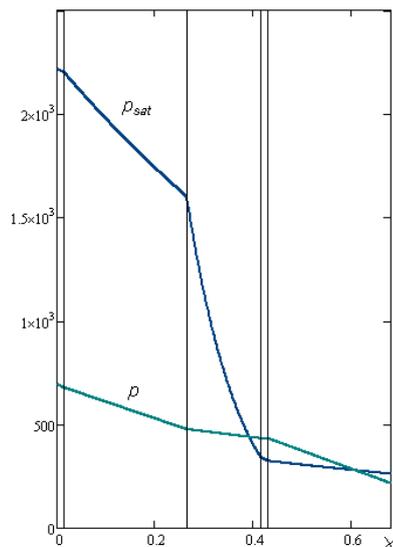


Рисунок 5. Профили давления насыщенного водяного пара $p_{sat}(x)$ и парциального давления водяного пара $p(x)$ по варианту 1 для Казани (январь)

Из рисунка 4 видно, что в рассматриваемой ограждающей конструкции плоскость конденсации влаги отсутствует. Влагонакопление в течение года также отсутствует. Таким образом, устройство хорошо-вентилируемой воздушной прослойки позволяет существенно улучшить влажностный режим наружной стены.

3.3.3. Конструкция с неventилируемой воздушной прослойкой, Казань

Определение плоскости конденсации влаги в наиболее холодный месяц года для ограждающей конструкции по варианту 1 для Казани представлено на рисунке 5.

Из рисунка 5 видно, что в рассматриваемой ограждающей конструкции плоскость конденсации расположена на стыке неventилируемого воздушного зазора и наружного слоя кирпичной кладки. Координата плоскости конденсации влаги $x = 0,43$ м. В этой плоскости отклонение p от p_{sat} равно 109,333 Па.

Результаты расчета влажностного режима наружной стены в годовом цикле приведены в табл. 5.

Таблица 5. Результаты расчета влажностного режима наружной стены в годовом цикле для Казани (вариант 1)

Месяц	Приращение влаги в течение месяца, $\text{кг}/\text{м}^2$	Количество влаги с начала расчета, $\text{кг}/\text{м}^2$
Октябрь	-0,05988	0
Ноябрь	0,02915	0,02915
Декабрь	0,05891	0,08806
Январь	0,07729	0,16535
Февраль	0,061	0,22635
Март	0,03147	0,25782
Апрель	-0,10152	0,15663
Май	-0,32438	0
Июнь	-0,44082	0
Июль	-0,4586	0
Август	-0,37349	0
Сентябрь	-0,21178	0

Результаты расчета показывают, что в период с ноября по март в рассматриваемой конструкции происходит влагонакопление. Максимальное приращение влаги в конструкции за месяц отмечается в январе ($0,07729 \text{ кг/м}^2$), максимальное количество влаги с начала расчета — в марте ($0,25782 \text{ кг/м}^2$). Анализ годового баланса влаги показывает, что систематического влагонакопления в течение года не происходит. В период влагонакопления отмечается приrost влаги в конструкции.

3.3.4. Конструкция с хорошо-вентилируемой воздушной прослойкой, Казань

Определение плоскости конденсации влаги в наиболее холодный месяц года для ограждающей конструкции по варианту 2 для Казани представлено на рисунке 6.

Из рисунка 6 видно, что в рассматриваемой конструкции плоскость конденсации влаги отсутствует. Влагонакопление в течение года также отсутствует. Таким образом, устройство хорошо-вентилируемой воздушной прослойки позволяет существенно улучшить влажностный режим наружной стены.

3.3.5. Сравнительная оценка влажностного режима ограждающих конструкций для Санкт-Петербурга и Казани

Сравнительная оценка влажностного режима в годовом цикле для наружной стены по варианту 1, выполненная для Санкт-Петербурга и Казани, показывает (рис. 7) большее влагонакопление для конструкции в Казани. Это объясняется влиянием более низкой температуры наружного воздуха в период влагонакопления в Казани, при сопоставимых значениях относительной влажности. Для конструкции по варианту 2 влагонакопление отсутствует для обоих пунктов строительства.

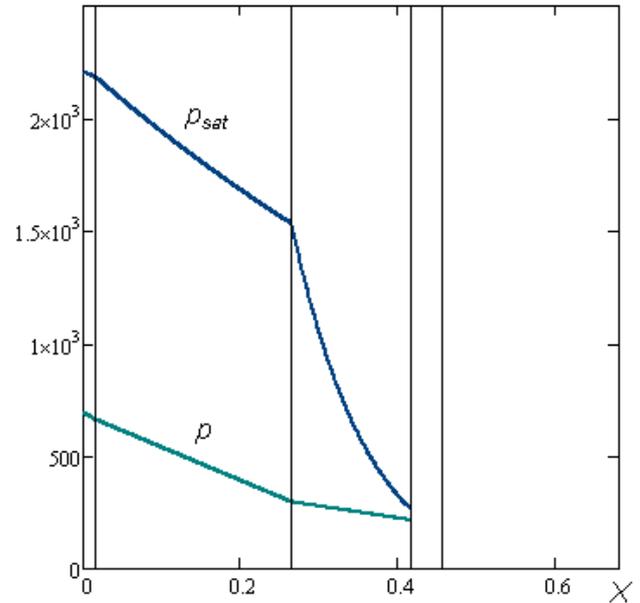


Рисунок 6. Профили давления насыщенного водяного пара $\rho_{sat}(x)$ и парциального давления водяного пара $\rho(x)$ по варианту 2 для Казани (январь)

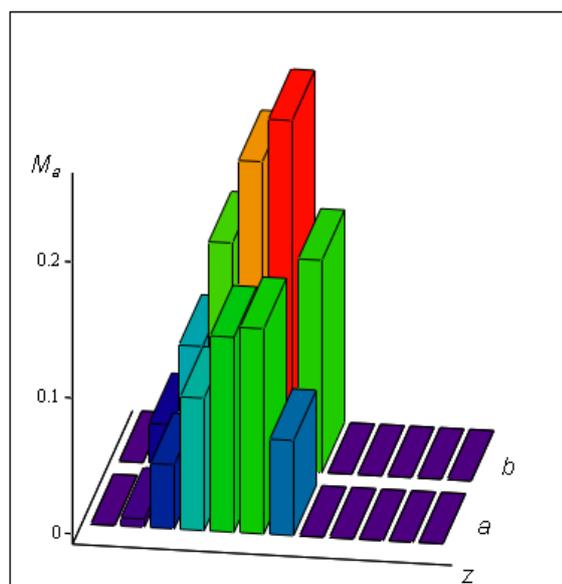


Рисунок 7. Динамика влагонакопления в наружной стене с неventилируемой воздушной прослойкой в годовом цикле для Санкт-Петербурга (а) и Казани (б)

Кроме того, как показали исследования [26—30], наличие хорошо-вентилируемой воздушной прослойки между лицевым кирпичным слоем и слоем теплоизоляции приводит к выравниванию градиента температур по толщине лицевого кирпичного слоя, что уменьшает разницу абсолютных значений деформации внутренней и наружной поверхностей лицевого кирпичного слоя и, тем самым, увеличивает его эксплуатационный срок службы и долговечность.

4. Заключение

На основании представленных выше расчетов сформулированы следующие **основные выводы**:

1. Наружный климат оказывает влияние на влажностный режим ограждающих конструкций, создавая прирост влаги в конструкции с неventилируемой воздушной прослойкой в период влагонакопления. Более низкая температура наружного воздуха приводит к большему накоплению влаги в конструкции.
2. Использование в конструкциях наружных стен хорошо-вентилируемой воздушной прослойки позволяет значительно улучшить влажностный режим ограждений в различных влажностно-климатических зонах и рекомендуется для практического применения.

Литература

- [1]. Корниенко С.В. Повышение энергоэффективности зданий за счет снижения теплопотерь через краевые зоны ограждающих конструкций // *Academia. Архитектура и строительство*. 2010. № 3. С. 348–351.
- [2]. Корниенко С.В. Тестирование метода расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций на результатах натуральных измерений параметров микроклимата помещений // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. № 2 (28). С. 18–23.
- [3]. 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.
- [4]. Корниенко С.В. Температурно-влажностный режим наружных стен с вентилируемым фасадом // *Academia. Архитектура и строительство*. 2009. № 5. С. 389–394.
- [5]. Корниенко С.В. Инженерная оценка влажности наружных стен // *Интернет-Вестник ВолгГАСУ*. 2015. № 1 (37). С. 19.
- [6]. Liu X., Chen Y., Ge H., Fazio P., Chen G. Numerical investigation for thermal performance of exterior walls of residential buildings with moisture transfer in hot summer and cold winter zone of China (2015) *Energy and Buildings*, 93, pp. 259–268.
- [7]. Moon H.J., Ryu S.H., Kim J.T. The effect of moisture transportation on energy efficiency and IAQ in residential buildings (2014) *Energy and Buildings*, 75, pp. 439–446.
- [8]. Litavcova E., Korjenic A., Korjenic S., Pavlus M., Sarhadov I., Seman J., Bednar T. Diffusion of moisture into building materials: A model for moisture transport (2014) *Energy and Buildings*, 68, pp. 558–561.
- [9]. Lelievre D., Colinart T., Glouannec P. Hygrothermal behavior of bio-based building materials including hysteresis effects: Experimental and numerical analyses (2014) *Energy and Buildings*, 84, pp. 617–627.
- [10]. Nizovtsev M.I., Belyi V.T., Sterlygov A.N. The facade system with ventilated channels for thermal insulation of newly constructed and renovated buildings (2014) *Energy and Buildings*, 75, pp. 60–69.
- [11]. Del Coz Díaz J.J., Álvarez-Rabanal F.P., Gencel O., García Nieto P.J., Alonso-Martínez M., Navarro-Manso A., Prendes-Gero B. Hygrothermal study of lightweight concrete hollow bricks: A new proposed experimental–numerical method (2014) *Energy and Buildings*, 70, pp. 194–206.
- [12]. Vereecken E., Van Gelder L., Janssen H., Roels S. Interior insulation for wall retrofitting – A probabilistic analysis of energy savings and hygrothermal risks (2015) *Energy and Buildings*, 89, pp. 231–244.
- [13]. Stazi F., Tittarelli F., Politi G., Di Perna C., Munafò P. Assessment of the actual hygrothermal performance of glass mineral wool insulation applied 25 2015s ago in masonry cavity walls (2014) *Energy and Buildings*, 68, Part A, pp. 292–304.
- [14]. Ibrahim M., Wurtz E., Biwole P.H., Achard P., Sallee H. Hygrothermal performance of exterior walls covered with aerogel-based insulating rendering (2014) *Energy and Buildings*, 84, pp. 241–251.
- [15]. Wang Y., Liu Y., Wang D., Liu J. Effect of the night ventilation rate on the indoor environment and air-conditioning load while considering wall inner surface moisture transfer (2014) *Energy and Buildings*, 80, pp. 366–374.
- [16]. Международный стандарт ISO 6946 «Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method».
- [17]. Международный стандарт ISO 13788 «Hygrothermal performance of building components and building elements — Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation — Calculation methods».
- [18]. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология». Актуализированная редакция СНиП 23–01–99*.
- [19]. СНиП II–А.6–72 «Строительная климатология и геофизика».
- [20]. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Актуализированная редакция СНиП 23–02–2003.
- [21]. СП 54.13330.2011 «Здания жилые многоквартирные». Актуализированная редакция СНиП 31–01–2003.
- [22]. ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия».
- [23]. Протокол сертификационных испытаний НИИСФ РААСН от 05.08.2011 № 72.
- [24]. Протокол испытаний от 19.03.2010 № 603/ГС (испытательный центр «Политест»).

- [25]. СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции» Актуализированная редакция СНиП II-22-81*.
- [26]. Орлович Р.Б., Горшков А.С., Зимин С.С. Применение камней с высокой пустотностью в облицовочном слое многослойных стен // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 8. С. 14–23.
- [27]. Горшков А.С. Оценка долговечности стеновой конструкции на основании лабораторных и натуральных испытаний // Строительные материалы. 2009. № 8. С. 12–17.
- [28]. Горшков А.С., Рымкевич П.П., Пестряков И.И., Кнатько М.В. Прогнозирование эксплуатационного срока службы стеновой конструкции из газобетона с лицевым слоем из силикатного кирпича // Строительные материалы. 2010. № 9. С. 49–53.
- [29]. Горшков А.С., Кнатько М.В., Рымкевич П.П. Лабораторные и натурные исследования долговечности (эксплуатационного срока службы) стеновой конструкции из автоклавного газобетона с лицевым слоем из силикатного кирпича // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 8. С. 20–26.
- [30]. Горшков А.С. Модель физического износа строительных конструкций // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 12. С. 10–13.

Evaluation of Hygrothermal Performance of Multilayered Wall Design in Annual Cycle

S.V. Korniyenko¹, N.I. Vatin², M.R. Petritchenco³, A.S. Gorshkov⁴

¹ Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, 1 Akademicheskaya Street, 400074, Volgograd, Russia

²⁻⁴ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

Scientific article

Article history

Received 26 March 2015
Accepted 22 May 2015

Keywords

multilayered wall,
air gap,
thermal insulation,
vapour partial pressure,
moisture accumulation,
moisture condensation surface

ABSTRACT

Actual problem of architecture and construction is improvement of hygrothermal conditions of the modern building components with the increased thermal performance. The evaluation of hygrothermal performance of three-layered wall construction with outer layer from lining ceramic brick, with use insulated glass staple fiber products of the TS 034-Aquastatik brand of production of JSC KNAUF Insuleyshn is presented in the paper. Calculations are executed for two points — St. Petersburg and Kazan differing according to external climatic data and service conditions of the building components. Two options of calculation — with unventilated air gap and with the well-ventilated air gap located between a heat-insulation layer and an outer layer from lining ceramic brick are considered. For the purpose of an objective comparative assessment of hygrothermal conditions the design of external walls is accepted identical, with the same thickness of a heat-insulation layer (150 mm). It is shown that the external climate has impact on moisture conditions of external walls with unventilated air gap, creating a moisture gain in a design during moisture accumulation. Use in designs of external walls of a well-ventilated air gap allows to improve considerably moisture conditions of the building components in various moist and climatic zones and it is recommended for practical application.

Corresponding author:

- 1 +7 (988) 4912 459, svkorn2009@yandex.ru (Korniyenko Sergey Valerevich, Ph.D., Associate Professor)
- 2 +7 (921) 9643 762, vatin@mail.ru (Vatin Nikolai Ivanovich, Ph.D., Prof.)
- 3 +7 (921) 3300 429, fonpetrich@mail.ru (Petrichenko Mikhail Romanovich, Ph.D., Prof.)
- 4 +7 (921) 3884 315, alsgor@yandex.ru (Gorshkov Alexander Sergeevich, Ph.D., Associate Professor)

References

- [1]. Korniyenko S.V. *Povysheniye energoeffektivnosti zdaniy za schet snizheniya teplopoter cherez krayevyye zony ograzhdayushchikh konstruksiy* [Improving the energy efficiency of buildings by reducing heat loss through the boundary zone walling] *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo*. 2010. № 3. Pp. 348–351. (rus)
- [2]. Korniyenko S.V. *Testirovaniye metoda rascheta temperaturno-vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruksiy na rezultatakh naturnykh izmereniy parametrov mikroklimate pomeshcheniy* [Testing method of calculation of temperature and humidity walling on the results of field measurements of indoor climate parameters]. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. Vol. 2 (28). Pp. 18–23. (rus)
- [3]. Korniyenko S.V. *Metod resheniya trekhmernoy zadachi sovmestnogo nestatsionarnogo teplo- i vlagoperenosa dlya ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy* [A method for solving the three-dimensional problem of unsteady joint heat and moisture for building envelopes] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo*. 2006. № 2. Pp. 108–110. (rus)
- [4]. Korniyenko S.V. *Temperaturno-vlazhnostnyy rezhim naruzhnykh sten s ventiliruyemym fasadom* [Temperature and humidity of exterior walls with ventilated facade] *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo*. 2009. № 5. Pp. 389–394. (rus)
- [5]. Korniyenko S.V. *Inzhenernaya otsenka vlazhnosti naruzhnykh sten* [Engineering evaluation of humidity of exterior walls] *Internet-Vestnik VolgGASU*. 2015. № 1 (37). Pp. 19. (rus)
- [6]. Liu X., Chen Y., Ge H., Fazio P., Chen G. Numerical investigation for thermal performance of exterior walls of residential buildings with moisture transfer in hot summer and cold winter zone of China (2015) *Energy and Buildings*, 93, pp. 259–268.
- [7]. Moon H.J., Ryu S.H., Kim J.T. The effect of moisture transportation on energy efficiency and IAQ in residential buildings (2014) *Energy and Buildings*, 75, pp. 439–446.
- [8]. Litavcova E., Korjenic A., Korjenic S., Pavlus M., Sarhadov I., Seman J., Bednar T. Diffusion of moisture into building materials: A model for moisture transport (2014) *Energy and Buildings*, 68, pp. 558–561.
- [9]. Lelievre D., Colinart T., Glouannec P. Hygrothermal behavior of bio-based building materials including hysteresis effects: Experimental and numerical analyses (2014) *Energy and Buildings*, 84, pp. 617–627.
- [10]. Nizovtsev M.I., Belyi V.T., Sterlygov A.N. The facade system with ventilated channels for thermal insulation of newly constructed and renovated buildings (2014) *Energy and Buildings*, 75, pp. 60–69.
- [11]. Del Coz Díaz J.J., Álvarez-Rabanal F.P., Gencel O., García Nieto P.J., Alonso-Martínez M., Navarro-Manso A., Prendes-Gero B. Hygrothermal study of lightweight concrete hollow bricks: A new proposed experimental–numerical method (2014) *Energy and Buildings*, 70, pp. 194–206.
- [12]. Vereecken E., Van Gelder L., Janssen H., Roels S. Interior insulation for wall retrofitting – A probabilistic analysis of energy savings and hygrothermal risks (2015) *Energy and Buildings*, 89, pp. 231–244.
- [13]. Stazi F., Tittarelli F., Politi G., Di Perna C., Munafò P. Assessment of the actual hygrothermal performance of glass mineral wool insulation applied 25 years ago in masonry cavity walls (2014) *Energy and Buildings*, 68, Part A, pp. 292–304.
- [14]. Ibrahim M., Wurtz E., Biwole P.H., Achard P., Sallee H. Hygrothermal performance of exterior walls covered with aerogel-based insulating rendering (2014) *Energy and Buildings*, 84, pp. 241–251.
- [15]. Wang Y., Liu Y., Wang D., Liu J. Effect of the night ventilation rate on the indoor environment and air-conditioning load while considering wall inner surface moisture transfer (2014) *Energy and Buildings*, 80, pp. 366–374.
- [16]. *Mezhdunarodnyy standart ISO 6946 «Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method»*. [The international standard ISO 6946 «Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method»] (rus)
- [17]. *Mezhdunarodnyy standart ISO 13788 «Hygrothermal performance of building components and building elements — Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation — Calculation methods»* [The international standard ISO 13788 «Hygrothermal performance of building components and building elements - Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods».] (rus)
- [18]. *SP 131.13330.2012 «Stroitel'naya klimatologiya». Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23–01–99**. [SP 131.13330.2012 "Building Climatology". The updated edition of SNiP 23-01-99] (rus)

- [19]. SNiP II-A.6-72 «*Stroitel'naya klimatologiya i geofizika*» [SNIP II-A.6-72 "Building climatology and geophysics"] (rus)
- [20]. SP 50.13330.2012 «*Teplovaya zashchita zdaniy*». Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-02-2003. [SP 50.13330.2012 "Thermal Protection of Buildings". The updated edition of SNiP 23-02-2003.] (rus)
- [21]. SP 54.13330.2011 «*Zdaniya zhilye mnogokvartirnyye*». Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 31-01-2003. [SP 54.13330.2011 "residential apartment buildings." The updated edition of SNiP 01/31/2003.] (rus)
- [22]. GOST 530-2012 «*Kirpich i kamen keramicheskiye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya*». [GOST 530-2012 "Brick and ceramic stone. General specifications ".] (rus)
- [23]. *Protokol sertifikatsionnykh ispytaniy NIISF RAASN ot 05.08.2011 № 72*. [Minutes certification tests NIISF RAASN from 05.08.2011 № 72] (rus)
- [24]. *Protokol ispytaniy ot 19.03.2010 № 603/GS (ispytatelnyy tsentr «Politest»)*. [The test report from 19.03.2010 № 603 / GS (test center "Polytest")] (rus)
- [25]. SP 15.13330.2012 «*Kamennyye i armokamennyye konstruksii*» Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-22-81*. [SP 15.13330.2012 "Stone and reinforced structure," The updated edition of SNiP II-22-81 *] (rus)
- [26]. Orlovich R.B., Gorshkov A.S., Zimin S.S. *Primeneniye kamney s vysokoy pustotnostyu v oblitsovochnom sloye mnogosloynnykh sten*. [The use of stones with high emptiness in a facing layer of multi-layer walls] Magazine of Civil Engineering. 2013. Vol. 8. Pp. 14–23.
- [27]. Gorshkov A.S. *Otsenka dolgovechnosti stenovoy konstruksii na osnovanii laboratornykh i naturnykh ispytaniy* [Assessment of the durability of the wall structure on the basis of laboratory and field tests] *Stroitelnyye materialy*. 2009. № 8. Pp. 12–17.
- [28]. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Pestryakov I.I., Knatko M.V. *Prognozirovaniye ekspluatatsionnogo sroka sluzhby stenovoy konstruksii iz gazobetona s litsevyim sloyem iz silikatnogo kirpicha* [Prediction of the operational life of aerated concrete wall construction with an obverse layer of silica brick] *Stroitelnyye materialy*. 2010. Vol. 9. Pp. 49–53.
- [29]. Gorshkov A.S., Knatko M.V., Rymkevich P.P. *Laboratornyye i naturnyye issledovaniya dolgovechnosti (ekspluatatsionnogo sroka sluzhby) stenovoy konstruksii iz avtoklavnogo gazobetona s litsevyim sloyem iz silikatnogo kirpicha*. [Laboratory and field studies of longevity (operational life) of the wall structure of the AAC with facial layer of silica brick] Magazine of Civil Engineering. 2009. Vol. 8. Pp. 20–26.
- [30]. Gorshkov A.S. *Model fizicheskogo iznosa stroitelnykh konstruksiy* [Model physical deterioration of constructions] *Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka*. 2014. № 12. Pp. 10–13.

Корниенко С.В., Ватин Н.И., Петриченко М.Р., Горшков А.С. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №6(33). С. 19-33.

Korniyenko S.V., Vatin N.I., Petritchenko M.R., Gorshkov A.S. Evaluation of hygrothermal performance of multilayered wall design in annual cycle. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 6(33), Pp. 19-33. (rus)