Construction of Unique Buildings and Structures
journal homepage: www.unistroy.spb.ru

Воздушный режим трехслойной стеновой конструкции

Н.И. Ватин[1], М.Р. Петриченко[2], С.В. Корниенко[3], А.С. Горшков[4], Д.В. Немова[5*],

[1,2,4,5]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

[3]Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 400074, Россия, Волгоград, ул. Академическая, 1

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК 699.86	Подана в редакцию 25 января 2016	наружные стены; расчетные климатические условия; параметры наружного климата; параметры микроклимата в помещении; ГСОП; тепловая защита; воздушный режим; энергосбережение; энергоэффективность;

АННОТАЦИЯ

В работе представлена оценка воздушного режима трехслойной стеновой конструкции с наружным слоем из лицевого керамического кирпича применительно к климатическим условиям Санкт-Петербурга и Казани с использованием изделий теплоизоляционных из стеклянного штапельного волокна марки TS 034–Aquastatik производства ООО «КНАУФ Инсулейшн». Исследуются параметры воздушного потока в воздушном зазоре рассматриваемой конструкции. Предлагаются конструктивные решения по усовершенствованию рассматриваемых конструкций в виде устройства отверстий с определенной частотой для обеспечения притока воздуха в зазор. Исследуется влияние ветровлагозащитных мембран на скорость и характер движения воздуха в зазоре. Приводятся результаты оценки влияния ветровлагозащитных мембран на сохранность утеплителя и образование конденсата.

Содержание

1. Введение 103
2. Литературный обзор 103
3. Цели и задачи работы 103
4. Описание исследования 103
5. Заключение 109

Контактный автор:
1. +7(921)9643762, vatin@mail.ru (Ватин Николай Иванович, д.т.н., профессор)
2. +7(921)3300429, fonpetrich@mail.ru (Петриченко Михаил Романович, д.т.н., профессор)
3. +7(988)4912459, svkorn2009@yandex.ru (Корниенко Сергей Валерьевич, к.т.н., доцент)
4. +7(921)3884315, alsgor@yandex.ru (Горшков Александр Сергеевич, к.т.н., доцент)
5*. +7(921)8900267, darya.nemova@gmail.com (Немова Дарья Викторовна, к.т.н., старший преподаватель)

1. Введение

В настоящее время большое распространение получили многослойные ограждающие конструкции для внешних (ограждающих) стен зданий. Данные конструкции за счет различных функций каждого слоя (основной слой - несущий, теплоизоляционный материал - функция теплозащиты, воздушный зазор - нормализация тепловлажностного режима, облицовочный слой – декоративные функции и др.) являются самым эффективным вариантом внешних стен. В настоящее время существует множество вариантов их исполнения. Частным случаем таких конструкций является трехслойная стеновая конструкция с наружным слоем из лицевого керамического кирпича. Данный тип конструкции обычно возводится с устройством воздушного зазора, между лицевым слоем кирпича и утеплителем, в связи с чем у проектировщиков возникают вопросы о необходимости устройства отверстий, подводящих воздух в зазор. Не ясны условия устройства таких отверстий, вызывает вопрос необходимость применения ветровлагозащитных пленок для защиты утеплителя.

2. Литературный обзор

Исследованию явлений, происходящих в многослойных ограждающих конструкциях, посвящен ряд работ современных ученых [2-7,14-32].

Ю.М. Володина и Ю.С. Чумаков [23] изучали свободно-конвективное движение воздуха в вентилируемых каналах.

Алексей Васильевич Лыков – выдающийся ученый теплофизик с мировым именем открыл явление термической диффузии влаги в капиллярно-пористых телах, создал теорию тепло- и массообмена в капиллярно-пористых телах [31] и ее часть - теорию сушки [32], значительно развил теорию теплопроводности, разработал теоретические основы строительной теплофизики, основатель научной школы в области тепло- и массообмена.

E.M. Sparrow – изучал явления теплопередачи, естественной конвекции, расхода жидкостей, массопереноса, проводил эксперименты по изучению воздуховодов, свободной конвекции, тепловых коэффициентов переноса, труб, коэффициентов Нуссельта [41-42].

Однако, несмотря на большой объем исследований по данной теме, до сих пор отсутствуют работы, содержащие объективную оценку воздушного режима трехслойной стеновой конструкции с наружным слоем из лицевого керамического кирпича. Не изучено влияние ветровлагозащитных мембран на параметры воздушного потока в зазоре, на характер движения воздуха. Не обоснована необходимости устройства отверстий, подводящих воздух в зазор. Не ясны условия устройства таких отверстий.

3. Цели и задачи работы

Целью работы является оценка воздушного режима трехслойной стеновой конструкции с наружным слоем из лицевого керамического кирпича применительно к климатическим условиям Санкт-Петербурга и Казани с использованием изделий теплоизоляционных из стеклянного штапельного волокна.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить объект и методы исследования
2. Выбрать исходные данные для расчета
3. Оценить воздушный режим эксплуатации стеновой конструкции для Санкт-Петербурга и Казани

Расчеты выполнены применительно для двух населенных пунктов, – Санкт-Петербурга и Казани, отличающихся по наружным климатическим данным и условиям эксплуатации наружных ограждающих конструкций. С целью объективной сравнительной оценки воздушного режима эксплуатации, конструктивное исполнение наружных стен принято идентичным, в том числе одинаковой принята толщина слоя рассматриваемого типа теплоизоляционного слоя (150 мм).

4. Описание исследования

Многослойная наружная стеновая конструкция с облицовочным слоем из лицевого кирпича представлена на рис. 1.

В работе [1] произведена оценка влажностного режима рассматриваемого типа стенового ограждения. Оценка влажностного режима ограждающих конструкций в работе [1] выполнена в соответствии с требованиями Международного стандарта ISO 13788 [2]. Расчетная оценка влажностного режима основана на определении максимального количества влаги в зоне конденсации в годовом цикле.

В результате проведенного исследования [1] было получено, что при устройстве многослойных стен с облицовочным слоем из лицевого кирпича в проектах рекомендуется предусматривать хорошо вентилируемую воздушную прослойку толщиной не менее 40 мм с открытыми отверстиями между ней и наружной средой, площадь отверстий которой составляет более 1500 мм^2 на 1 погонный метр протяженности фасада (при горизонтальном направлении воздушного потока).

Кроме того, 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 [3-7].

По этой причине оценка воздушного режима рассматриваемой многослойной стеновой конструкции в рамках данного исследования рассмотрена для конструктивного исполнения с хорошо вентилируемой воздушной прослойкой (рис. 1).

Требуемый уровень тепловой защиты наружных стен обеспечивается применением эффективного утеплителя в виде теплоизоляционных плит из стеклянного штапельного волокна «КНАУФ Инсулейшн» марки TS 034–Aquastatik.

Для оценки влияния условий наружного климата на воздушный режим рассматриваемой ограждающей конструкции расчет выполнен для пунктов, расположенных в различных влажностно-климатических зонах:

- Санкт-Петербурга (влажная зона);
- Казани (нормальная зона).

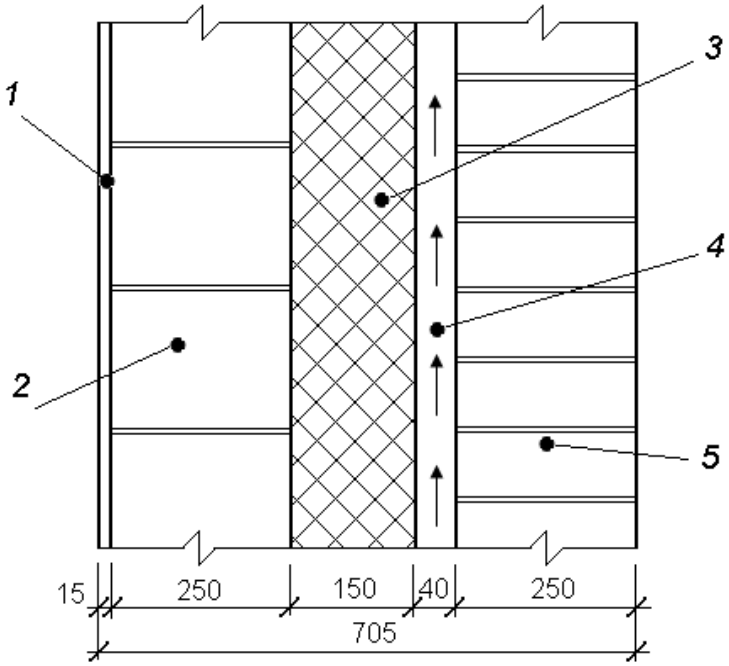

Рисунок 1. Расчетная схема наружной стены с хорошо вентилируемой воздушной прослойкой: 1 – внутренняя штукатурка; 2 – внутренний слой кирпичной кладки; 3 – теплоизоляция; 4 – воздушная прослойка, вентилируемая наружным воздухом; 5 – наружный слой кирпичной кладки

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 ограждающих конструкций, необходимые для расчета.

Параметры наружного климата (температура t_{ext} и относительная влажность воздуха φ_{ext}) приведены в табл. 1 [1].

Ватин Н.И., Петриченко М.Р., Корниенко С.В., Горшков А.С., Немова Д.В, Воздушный режим трехслойной стеновой конструкции / Vatin N.I., Petrichenko M.R., Korniyenko S.V., Gorshkov A.S., Nemova D.V. Air mode of a tripple wall, ©

Таблица 1 – Параметры наружного климата

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
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

Параметры микроклимата в помещении (температура t_{int} и относительная влажность внутреннего воздуха φ_{int}) приведены в табл. 2 [1].

Таблица 2 – Параметры микроклимата в помещении

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

Расчетные теплотехнические характеристики материалов ограждающих конструкций приведены в табл. 3.

Теплопроводность материалов принята согласно СП 50.13330 [8] в зависимости от условий эксплуатации ограждающих конструкций. Условия эксплуатации ограждающих конструкций определяются влажностным режимом помещения и зоной влажности. На основании данных СП 54.13330 [9, п. 9.3] влажностный режим помещений – сухой (при температуре внутреннего воздуха 20 °С и относительная влажности 50 %). Согласно СП 131.13330 [10] 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 [8];
- для слоя 2 – согласно табл. Г.1 ГОСТ 530 [11];
- для слоя 3: теплопроводность – по протоколу сертификационных испытаний НИИСФ РААСН от 05.08.2011 № 72 [12];
- для слоя 4: термическое сопротивление невентилируемой воздушной прослойки (вариант 1) принято равным 0,15 м^{2}·°С/Вт (табл. Е.1 СП 50.13330 [8]);
- для слоя 5 – согласно табл. Г.1 ГОСТ 530 [11].

Таблица 3 – Расчетные теплотехнические характеристики материалов

Номер слоя	Материал	Плотность материала в сухом состоянии ρ_o, кг/м^3	Теплопроводность λ, Вт/(м·°С), 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 (ρ_o = 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 (ρ_o = 1400 кг/м^3) на цементно-песчаном растворе (ГОСТ 530–2012)	1480	0,49	0,55	0,13

П р и м е ч а н и е. Согласно требованиям п. 9.32 СП 15.13330 [13] в конструкциях со средним слоем из эффективного утеплителя и гибким соединением слоев следует предусматривать применение лицевого кирпичного слоя толщиной 250 мм.

Оценка воздушного режима эксплуатации стеновой конструкции

Средняя скорость воздуха в прослойке вычисляется по формуле:

$$v = \varphi\sqrt{1-T_c/T_h}\sqrt{2gL}, \quad (1)$$

где $T_{c,h}$ – температуры воздуха (с) и поверхности «горячей» стенки (h) соответственно;

φ – коэффициент скорости воздушной прослойки, $\varphi = 1/\sqrt{1+\lambda L/h+\zeta}$;

L – высота воздушной прослойки;

h – ее ширина;

λ – коэффициент гидравлического трения;

ζ – коэффициент местных потерь напора.

Для большинства фасадов $\varphi \le 0{,}3$.

В основу расчета положены следующие положения.

Наличие мембраны в вентилируемой прослойке приводит к уменьшению T_h за счет температурного напора на прослойке. Это приводит к снижению средней скорости воздуха в прослойке по сравнению вариантом устройства теплоизоляции без мембраны и, как следствие, к ламинаризации движения. Числа Рэлея Ra=O(10^6-10^7), что характерно для молекулярного переноса влаги, теплоты и импульса. В свою очередь, снижение скорости приводит к уменьшению касательного напряжения трения на мембране и к уменьшению вероятности повреждения мембраны. Иначе говоря, температурный режим прослойки способствует снижению скорости и трения в прослойке.

Снижение температуры «горячей» поверхности T_h увеличивает вероятность перемещения изотермы, отвечающей «точке росы» к поверхности с температурой $T = T_h$. Определение температурного и влажностного полей в воздушном потоке сводится к решению уравнений движения, теплопередачи и диффузии:

$$f''' + 3f\,f'' - 2f'^2 + \theta = 0,$$
$$\theta'' + 3\sigma\, f\,\theta' = 0,$$
$$\varphi'' + 3\sigma_D f\,\varphi' = 0,$$
$$f(0) = f'(0) = f'(\infty) = \theta(0) - 1 = \theta(\infty) = \varphi(0) = \varphi(\infty) - 1 = 0, \quad (2)$$

где $f=f(\zeta)$ – безразмерная функция тока;

$\zeta:=y/\delta$ – относительная поперечная координата;

φ – относительная влажность воздуха;

$$\theta = (T - T_c)/(T_h - T_c);$$

σ, σ_D – числа Прандтля, температурное и диффузионное, $\sigma_D > \sigma$.

По определению, $\zeta:=y/\delta$, где y – поперечная координата, отсчитываемая от горячей стенки, δ - толщина пограничного слоя подъемной силы, $\delta = \sqrt[4]{4\nu^2 z/g}$.

Как видно, при понижении температуры воздушного потока толщина слоя подъемной силы уменьшается за счет уменьшения вязкости воздуха.

Решение уравнения (приближенное) диффузии имеет вид:

$$\varphi(\zeta) = 1 - \exp(-3\sigma_D a\ \zeta) \quad (3)$$

где $3a=3^{1/4}$.

Образованию точки росы отвечает значение $\varphi=0$, $\zeta=\infty$ В действительности достаточно $3\cdot\sigma_D \cdot a\cdot\zeta=O(1)$, и, следовательно, изотерма точки росы сдвинута вглубь потока. Действительно, можно предыдущую формулу записать так:

$$\varphi = 1 - \theta^{\sigma_B/\sigma} \quad (4)$$

Как видно, в условиях диффузии паров воды в воздухе, $\sigma_D/\sigma \approx 3$ и насыщение пара происходит ближе к горячей стенке. Например, если насыщению отвечает значение $\varphi=0,9$, то $\theta=(1-0,9)^{1/3}=0,464$, т.е. практически образование росы происходит при средней температуре воздушного потока, т.е. в середине канала, а не ближе к мембране.

Иначе говоря, в среднем, поток становится холоднее и конденсация влаги в канале с мембраной вероятнее, чем в более «горячем» потоке в канале без мембраны.

Поясним сказанное примерами.

Убедимся в том, что интегральные характеристики движения и теплопередачи мало зависят от наличия или отсутствия мембраны.

Рассмотрим фрагмент ограждения, представленный на рисунке 1.

Коэффициент теплопередачи рассматриваемой стеновой конструкции оценивается по известной формуле:

$$k = \frac{1}{\delta_ш/\lambda_ш + \delta_к/\lambda_к + \delta_и/\lambda_и + \Delta/\lambda + 2/\alpha}, \quad (5)$$

где δ - толщина слоя;

λ - коэффициент теплопроводности слоя,

α - коэффициент теплоотдачи,

Δ - толщина мембраны, значками конкретизированы слои, ш – штукатурка, к – кирпичная кладка, и – теплоизолятор, без значка – мембрана.

Принимается: $\alpha=15$ Вт/(м^2·К).

Значения коэффициентов теплопроводности берется из таблицы 3.

Мембрана отсутствует.

A_1) Расчет для условий эксплуатации А (Казань):

$$k = \frac{1}{\delta_ш/\lambda_ш + \delta_к/\lambda_к + \delta_и/\lambda_и + \Delta/\lambda + 2/\alpha} =$$
$$= \frac{1}{0,015/0,7 + 0,250/0,27 + 0,15/0,037 + 2/15} = 0,1947\,Вт/(м^2 К);$$

Б1) Расчет для условий эксплуатации Б (Санкт-Петербург):

$$k = \frac{1}{0{,}015/0{,}87 + 0{,}250/0{,}35 + 0{,}15/0{,}039 + 2/15} = 0{,}2122\,Bm/(м^2 K).$$

Варианты со значком 1 (т.е. без мембраны) дают принципиально одинаковый результат: k≈0,2 Вт/(м^{2}К).

Мембрана установлена.

Пусть толщина мембраны Δ=1 мм, λ=0,1 Вт/(м·К). Тогда:

А2). Расчет для условий эксплуатации А (Казань):

$$k = \frac{1}{\delta_ш/\lambda_ш + \delta_к/\lambda_к + \delta_и/\lambda_и + \Delta/\lambda + 2/\alpha + \Delta/\lambda} =$$

$$= \frac{1}{0{,}015/0{,}7 + 0{,}250/0{,}27 + 0{,}15/0{,}037 + 2/15 + 0{,}001/0{,}1} = 0{,}1910\,Bm/(м^2 K)$$

;

Б2) Расчет для условий эксплуатации Б (Санкт-Петербург):

$$k = \frac{1}{0{,}015/0{,}87 + 0{,}250/0{,}35 + 0{,}15/0{,}039 + 2/15 + 0{,}001/0{,}1} = 0{,}2078\,Bm/(м^2 K);$$

По вариантам А-Б, независимо от значка:

$$q = k\left(T_{in} - T_c\right),$$

где T_{in} – температура внутреннего воздуха в помещении.

Для условий января (СПб): T_c=-5,6 ºС=267,4 К, T_{in}=20 ºС=293К.

Но: $q = \alpha\left(T_h - T_c\right) = k\left(T_{in} - T_c\right) \Rightarrow T_h = T_c + k/\alpha\left(T_{in} - T_c\right)$.

Тогда, в вариантах А1,2 (Казань):

А1). $T_h = 267{,}4 + 0{,}1947/15(293 - 267{,}4) = 267{,}73K$;

А2). $T_h = 267{,}4 + 0{,}1910/15(293 - 267{,}4) = 267{,}72K$;

Вывод: заметного изменения температуры поверхности горячей стенки в случае условий эксплуатации А нет.

Аналогично для вариантов Б1,2 (Санкт-Петербург):

Б1) $T_h = 267{,}4 + 0{,}2122/15(293 - 267{,}4) = 267{,}76$;

Б2) $T_h = 267{,}4 + 0{,}2078/15(293 - 267{,}4) = 267{,}75$

Итак, даже в условиях максимального (январского) перепада температур $T_{in} - T_c$, независимо от условий эксплуатации материала, влияние мембраны на температурный режим стены ничтожно.

Пусть высота канала составляет L=75 м (25 этажей), толщина хорошо вентилируемой прослойки h=40 мм, T_h=267,7К, T_c=267,4К, φ=1/(1+0,02∗100/0,04)^{0,5}=0,14.

Тогда:

$$v = 0{,}14\sqrt{1 - 267{,}4/267{,}7}\sqrt{20 \cdot 75} = 0{,}196\left(м/с\right);$$

Число Рейнольдса термогравитационной конвекции: $\mathrm{Re}_h = vh/\nu = 784$; тогда число Грасгофа (или Рэлея, σ≅1): Ra=Re^2=614656**.**

Число Рэлея не превосходит предельного значения (для вертикального канала порядка $10^7 \ldots 10^9$), характеризующего ламинарно-турбулентный кризис.

Толщина слоя подъемной силы на выходе из воздушной прослойки составит: $\delta = \sqrt[4]{4\nu^2 z/g} \le \sqrt[4]{4 \cdot 10^{-10} 75/10} = 0{,}0074 = 7{,}4мм$, т.е. градиенты температуры и относительной влажности существенны только на 7,4/40=0,185 толщины 40 миллиметровой воздушной прослойки. Вне слоя подъемной силы градиентов нет и поля скорости, температуры и влажности однородные.

Касательное напряжение трения на горячей стенке составит: $\tau = \rho\nu \cdot \mathrm{v}/\delta = 1{,}2 \cdot 10^{-5} 0{,}196/0{,}0074 = 0{,}0003Па$, т.е. 10 мкм водяного столба. Вероятность повреждения мембраны под действием гидродинамических сил ничтожна.

Режим движения остается ламинарным, влияние на гидродинамику воздушной прослойки мембраны ничтожно: снижение скорости при установке мембраны не превосходит долей процента.

Поэтому исключается влияние мембраны как фактора, существенно влияющего на температурный режим ограждения и воздушной прослойки. Даже в условиях максимальных (январских) перепадов температуры изменение температуры поверхности горячей стены исчисляется десятыми (сотыми) долями градуса. Соответственно, средняя скорость воздуха изменяется (уменьшается) при установке мембраны на доли процента. Естественно, что при снижении перепада температуры в осеннее-весенний период влияние мембраны исчезнет.

Мембрану следует рассматривать как защитное покрытие, не препятствующее диффузии паров воды в воздушную прослойку. Поэтому термическое сопротивление Δ/λ мембраны должно быть не больше термического сопротивления слоя изоляции, а проницаемость (или пористость) – больше, чем у слоя изоляции. В противном случае возможно образование конденсата на границе мембрана-теплоизоляция.

5. Заключение

На основании представленных выше расчетов сформулированы следующие основные выводы:

1. При устройстве многослойных стен с облицовочным слоем из лицевого кирпича в проектах рекомендуется предусматривать хорошо вентилируемую воздушную прослойку толщиной не менее 40 мм с открытыми отверстиями между ней и наружной средой, площадь отверстий которой составляет:

- более 1500 мм^2 на 1 погонный метр протяженности фасада (при горизонтальном направлении воздушного потока).

2. При устройстве хорошо вентилируемой прослойки с целью обеспечения сохранности теплоизоляционных свойств утеплителя со временем, увеличения сроков его нормальной эксплуатации и недопущения естественной конвекции в утеплителе рекомендуется на фасаде поверх слоя теплоизоляции размещать ветрозащитную мембрану.

3. Применение в хорошо вентилируемой прослойке ветрозащитной мембраны, имеющей эквивалентную толщину слоя воздуха, равную 0,015 м (сопротивление паропроницанию 0,021 м^2·ч·Па/мг), практически не оказывает влияния на влажностный режим рассматриваемого ограждения.

4. По результатам расчетной оценки воздушного режима наружных стен с хорошо вентилируемой воздушной прослойкой установлено следующее:

- при отсутствии ветрозащитной мембраны в хорошо вентилируемой прослойке присутствует турбулентный режим движения воздуха, что приводит к образованию вихревых зон, провоцирующих преждевременное разрушение теплоизоляционного слоя и повышает вероятность конвекции воздуха в граничном слое теплоизоляции;

- применение мембраны в рассматриваемой конструкции снижает скорость движения воздуха до значений, соответствующих ламинарному режиму без образования вихревых зон. Следовательно, применение мембраны оказывает положительное влияние на долговечность и сохранность теплоизоляционного слоя и всей конструкции в целом;

- не возникают дополнительные теплопотери, связанные с деградацией теплоизоляционных свойств стеновой конструкции со временем

Литература

[1]. 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.

[2]. 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».

[3]. 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.

[4]. Горшков А.С. Оценка долговечности стеновой конструкции на основании лабораторных и натурных испытаний // Строительные материалы. 2009. №8. С. 12-17.

[5]. 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.

[6]. 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.

[7]. Горшков А.С. Модель физического износа строительных конструкций // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 12. С. 10-13.

[8]. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Актуализированная редакция СНиП 23–02–2003.

[9]. СП 54.13330.2011 «Здания жилые многоквартирные». Актуализированная редакция СНиП 31–01–2003.

[10]. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология». Актуализированная редакция СНиП 23–01–99*.

[11]. ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия».

[12]. Протокол сертификационных испытаний НИИСФ РААСН от 05.08.2011 № 72.

[13]. СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции» Актуализированная редакция СНиП II-22-81*.

[14]. Федяева П.В., Шеина С.Г. Комплексная оценка энергосберегающих мероприятий при эксплуатации объектов недвижимости. // Academia. Архитектура и строительство 2010. No 3. С. 165-166.

[15]. Annie M. Hunter, Nicholas S.G. Williams, John P. Rayner, Lu Aye, Dominique Hes, Stephen J. Livesley, Quantifying the thermal performance of green facades: A critical review (2014), Ecological Engineering, 63, pp. 102– 113

[16]. Hassan Radhi, Stephen Sharples, Fayze Fikiry, Will multi-facade systems reduce cooling energy in fully glazed buildings? A scoping study of UAE buildings, (2013), Energy and Buildings, 56, pp. 179–188

[17]. Roberto Fuliotto, Francesco Cambuli, Natalino Mandas, Nicoletta Bacchin ,Giampiero Manara, Qingyan Chen, Experimental and numerical analysis of heat transfer and airflow on an interactive building façade, (2010), Energy and Buildings, 42, pp. 23–28

[18]. Aurélie Chabauda, Julien Eynarda, Stéphane Grieua, A new approach to energy resources management in a grid-connectedbuilding equipped with energy production and storage systems: A case study in the south of France (2015) Energy and Buildings, 99, pp. 9-31.

[19]. Fabio Favoino, Qian Jin, Mauro Overend, Towards an ideal adaptive glazed façade for office buildings (2014), Energy Procedia, 62, pp. 289 – 298

[20]. Cheol-Soo Park, Godfried Augenbroe, Local vs. integrated control strategies for double-skin systems (2013), Automation in Construction, 30, pp. 50–56

[21]. Rees, D.W.A. Mechanics of Optimal Structural Design: Minimum Weight Structures Book). 2009. pp. 1-560

[22]. Šťastník, S. Evaluation of thermal resistance of building insulations with reflective surfaces // AIP Conference Proceedings. 2012. 1479 (1), pp. 2204-2207

[23]. Volodina Yu.M., Chumakov Yu.S.Structure of a a free-convective flow near a vertical surface with stepwise heating // Heat Transfer Research. 2008. Т. 39. № 6. С. 469-478.

[24]. Wambeke, B.W., Liu, M., Hsiang, S.M. Planning to reduce variation in construction related tasks // Annual Conference - Canadian Society for Civil Engineering. 2011. 3, pp. 2485-2494

[25].A.L.S. Chan, T.T. Chow, Calculation of overall thermal transfer value (OTTV) for commercial buildings constructed with naturally ventilated double skin facade in subtropical Hong Kong, (2014), Energy and Buildings, 69, pp. 14–21

[26].Walid Tizani, Michael J. Mawdesley, Advances and challenges in computing in civil and building engineering, (2011), Advanced Engineering Informatics, 25, pp. 569–572

[27].Joern Ploennigs, Ammar Ahmed, Burkhard Hensel, Paul Stack, Karsten Menzel, Virtual sensors for estimation of energy consumption and thermal comfort in buildings with underfloor heating, (2011), Advanced Engineering Informatics, 25, pp. 688–698

[28].Sungho Lee, Sunkuk Kim, Youngju Na, Comparative analysis of energy related performance and constructioncost of the external walls in high-rise residential buildings, (2015)Energy and Buildings, 99, pp. 67–74

[29].V. Murgul, D. Vuksanovic, V. Pukhkal, N. Vatin: Development of the ventilation system of historic buildings in St. Petersburg. Applied Mechanics and Materials. (2014) Vols. 633-634 (2014) pp. 977-981

[30].V. Murgul, D. Vuksanovic, N. Vatin, V. Pukhkal: The use of decentralized ventilation systems with heat recovery in the historical buildings of St. Petersburg. Applied Mechanics and Materials. (2014) Vols. 635-637 (2014) pp 370-376

[31].A.V. Luikov, Application of irreversible thermodynamics to the study of heat and mass transfer, Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 3 (1965) 287-304.

[32].A.V. Liykov, Theory of Drying, first ed., Energy, Moskow, 1968

[33].E.M. Sparrow, J. Gorman, J. Abraham, Quantitative assessment of the overall heat transfer coefficient, Journal of Heat Transfer, 6 (2013).

[34].R.R. Rend, E.M. Sparrow, D.W. Bettenhausen, J.P. Abraham, Parasitic pressure losses in diffusers and in their downstream piping systems for fluid flow and heat transfer, International Journal of Heat and Mass Transfer, 1 (2013) 56-61.

[35].J.P. Abraham, E.M. Sparrow, J.C.K. Tong, W.J. Minkowycz, Periodic flow modeling. Part 1: hydrodynamic and thermal simulation of steady, intermittent streams in the area of permanent channels, 14th International Heat Transfer Conference, IHTC 14 (2010) 659-667.

[36].W.J. Minkowycz, E.M. Sparrow, J.Y. Murthy, J.P. Abraham, Handbook of Numerical Heat Transfer: Second Edition, 2009 1-968.

[37].J.P. Abraham, E.M. Sparrow, J.C.K. Tong, Heat transfer in all pipe flow regimes: laminar, transitional/intermittent, and turbulent, International Journal of Heat and Mass, 3 (2009) 557-563.

[38].E.M. Sparrow, G.K. Kratz, M.J. Schuerger, Evaporation of water from a horizontal surface by natural convection, Journal of Heat Transfer, 105 (1983) 469-475.

[39].E.M. Sparrow, N.T. Littlejohn, J.M. Gorman, J.P. Abraham, Mass transfer and particle separation by swirl-chamber and swirl-tube devices, Numerical Heat Transfer, 64 (2013), 611-620.

[40].E.M. Sparrow, R. Ruiz, L.F.A. Azevedo, Experimental and numerical investigation of natural convection in convergent vertical channels, International Journal of Heat and Mass Transfer, 31 (1988) 907-915.

[41].R.R. Rend, E.M. Sparrow, D.W. Bettenhausen, J.P. Abraham, Parasitic pressure losses in diffusers and in their downstream piping systems for fluid flow and heat transfer, International Journal of Heat and Mass Transfer, 61 (2013) 56-61.

Air mode of a tripple wall

N.I. Vatin [1], M.R. Petrichenko[2], S.V. Korniyenko[3], A.S. Gorshkov[4], Nemova D.V [5*]

[1,2,4,5] Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

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

ARTICLE INFO

scientific article

doi:

Articlehistory

Received 25 May 2016

Keywords

external walls;
settlement climatic conditions;
parameters of external climate;
indoor microclimate parameters;
thermal protection;
air mode;
energy saving;
energy efficiency;

ABSTRACT

Light steel thin-walled structures (LSTS), in particular, thermoprofiles are widely used in construction of building frames. According to the latest amendments in the documentary standards, zinc coated thermoprofiles without additional paint coating may be used as load-bearing structures only in non-aggressive conditions. Applying paint coating in addition to a zinc one entails extra expenses, while efficiency of this measure may not correspond to the costs. Resolving this issue requires special researches. The purpose of this article is to analyze conditions of corrosion processes and to develop methods of testing thin-walled steel products, taking into account the features of their service in walling.

Corresponding author:
1. +7(921)9643762, vatin@mail.ru (Nikolai Ivanovich Vatin, PhD., Professor)
2. +7(921)3300429, fonpetrich@mail.ru (Mikhail Romanovich Petritchenko, PhD., Professor)
3. +7(988)4912459, svkorn2009@yandex.ru (Sergey Valerievich Korniyenko, PhD., Associate Professor)
4. +7(921)3884315, alsgor@yandex.ru (Alexander Sergeevich Gorshkov, PhD., Associate Professor)
5*. +7(921)8900267, darya.nemova@gmail.com (Darya Viktorovna Nemova, PhD., Senior Lecturer)

Ватин Н.И., Петриченко М.Р., Корниенко С.В., Горшков А.С., Немова Д.В, Воздушный режим трехслойной стеновой конструкции / Vatin N.I., Petrichenko M.R., Korniyenko S.V., Gorshkov A.S., Nemova D.V. Air mode of a tripple wall, ©

References

[1]. Korniyenko S.V., Vatin N.I., Petrichenko M.R., Gorshkov A.S. Otsenka vlazhnostnogo rezhima mnogosloynoy stenovoy konstruktsii v godovom tsikle // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2015. № 6 (33). S. 19-33.

[2]. 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».

[3]. Orlovich R.B., Gorshkov A.S., Zimin S.S. Primeneniye kamney s vysokoy pustotnostyu v oblitsovochnom sloye mnogosloynykh sten // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2013. № 8. S. 14-23.

[4]. Gorshkov A.S. Otsenka dolgovechnosti stenovoy konstruktsii na osnovanii laboratornykh i naturnykh ispytaniy // Stroitelnyye materialy. 2009. №8. S. 12-17.

[5]. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Pestryakov I.I., Knatko M.V. Prognozirovaniye ekspluatatsionnogo sroka sluzhby stenovoy konstruktsii iz gazobetona s litsevym sloyem iz silikatnogo kirpicha // Stroitelnyye materialy. 2010. №9. S. 49-53.

[6]. Gorshkov A.S., Knatko M.V., Rymkevich P.P. Laboratornyye i naturnyye issledovaniya dolgovechnosti (ekspluatatsionnogo sroka sluzhby) stenovoy konstruktsii iz avtoklavnogo gazobetona s litsevym sloyem iz silikatnogo kirpicha // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2009. №8. S. 20-26.

[7]. Gorshkov A.S. Model fizicheskogo iznosa stroitelnykh konstruktsiy // Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. 2014. № 12. S. 10-13.

[8]. SP 50.13330.2012 «Teplovaya zashchita zdaniy». Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23–02–2003.

[9]. SP 54.13330.2011 «Zdaniya zhilyye mnogokvartirnyye». Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 31–01–2003.

[10]. SP 131.13330.2012 «Stroitelnaya klimatologiya». Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23–01–99*.

[11]. GOST 530–2012 «Kirpich i kamen keramicheskiye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya».

[12]. Protokol sertifikatsionnykh ispytaniy NIISF RAASN ot 05.08.2011 № 72.

[13]. SP 15.13330.2012 «Kamennyye i armokamennyye konstruktsii» Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-22-81*.

[14]. Fedyayeva P.V., Sheina S.G. Kompleksnaya otsenka energosberegayushchikh meropriyatiy pri ekspluatatsii obyektov nedvizhimosti. // Academia. Arkhitektura i stroitelstvo 2010. No 3. S. 165-166.

[15]. Annie M. Hunter, Nicholas S.G. Williams, John P. Rayner, Lu Aye, Dominique Hes, Stephen J. Livesley, Quantifying the thermal performance of green facades: A critical review (2014), Ecological Engineering, 63, pp. 102– 113

[16]. Hassan Radhi, Stephen Sharples, Fayze Fikiry, Will multi-facade systems reduce cooling energy in fully glazed buildings? A scoping study of UAE buildings, (2013), Energy and Buildings, 56, pp. 179–188

[17]. Roberto Fuliotto, Francesco Cambuli, Natalino Mandas, Nicoletta Bacchin ,Giampiero Manara, Qingyan Chen, Experimental and numerical analysis of heat transfer and airflow on an interactive building façade, (2010), Energy and Buildings, 42, pp. 23–28

[18]. Aurélie Chabauda, Julien Eynarda, Stéphane Grieua, A new approach to energy resources management in a grid-connectedbuilding equipped with energy production and storage systems: A case study in the south of France (2015) Energy and Buildings, 99, pp. 9-31.

[19]. Fabio Favoino, Qian Jin, Mauro Overend, Towards an ideal adaptive glazed façade for office buildings (2014), Energy Procedia, 62, pp. 289 – 298

[20]. Cheol-Soo Park, Godfried Augenbroe, Local vs. integrated control strategies for double-skin systems (2013), Automation in Construction, 30, pp. 50–56

[21]. Rees, D.W.A. Mechanics of Optimal Structural Design: Minimum Weight Structures Book). 2009. pp. 1-560

[22]. Šťastník, S. Evaluation of thermal resistance of building insulations with reflective surfaces // AIP Conference Proceedings. 2012. 1479 (1), pp. 2204-2207

[23]. Volodina Yu.M., Chumakov Yu.S.Structure of a a free-convective flow near a vertical surface with stepwise heating // Heat Transfer Research. 2008. Т. 39. № 6. S. 469-478.

[24]. Wambeke, B.W., Liu, M., Hsiang, S.M. Planning to reduce variation in construction related tasks // Annual Conference - Canadian Society for Civil Engineering. 2011. 3, pp. 2485-2494

[25].A.L.S. Chan, T.T. Chow, Calculation of overall thermal transfer value (OTTV) for commercial buildings constructed with naturally ventilated double skin facade in subtropical Hong Kong, (2014), Energy and Buildings, 69, pp. 14–21

[26].Walid Tizani, Michael J. Mawdesley, Advances and challenges in computing in civil and building engineering, (2011), Advanced Engineering Informatics, 25, pp. 569–572

[27].Joern Ploennigs, Ammar Ahmed, Burkhard Hensel, Paul Stack, Karsten Menzel, Virtual sensors for estimation of energy consumption and thermal comfort in buildings with underfloor heating, (2011), Advanced Engineering Informatics, 25, pp. 688–698

[28].Sungho Lee, Sunkuk Kim, Youngju Na, Comparative analysis of energy related performance and constructioncost of the external walls in high-rise residential buildings, (2015)Energy and Buildings, 99, pp. 67–74

[29].V. Murgul, D. Vuksanovic, V. Pukhkal, N. Vatin: Development of the ventilation system of historic buildings in St. Petersburg. Applied Mechanics and Materials. (2014) Vols. 633-634 (2014) pp. 977-981

[30].V. Murgul, D. Vuksanovic, N. Vatin, V. Pukhkal: The use of decentralized ventilation systems with heat recovery in the historical buildings of St. Petersburg. Applied Mechanics and Materials. (2014) Vols. 635-637 (2014) pp 370-376

[31].A.V. Luikov, Application of irreversible thermodynamics to the study of heat and mass transfer, Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 3 (1965) 287-304.

[32].A.V. Liykov, Theory of Drying, first ed., Energy, Moskow, 1968

[33].E.M. Sparrow, J. Gorman, J. Abraham, Quantitative assessment of the overall heat transfer coefficient, Journal of Heat Transfer, 6 (2013).

[34].R.R. Rend, E.M. Sparrow, D.W. Bettenhausen, J.P. Abraham, Parasitic pressure losses in diffusers and in their downstream piping systems for fluid flow and heat transfer, International Journal of Heat and Mass Transfer, 1 (2013) 56-61.

[35].J.P. Abraham, E.M. Sparrow, J.C.K. Tong, W.J. Minkowycz, Periodic flow modeling. Part 1: hydrodynamic and thermal simulation of steady, intermittent streams in the area of permanent channels, 14th International Heat Transfer Conference, IHTC 14 (2010) 659-667.

[36].W.J. Minkowycz, E.M. Sparrow, J.Y. Murthy, J.P. Abraham, Handbook of Numerical Heat Transfer: Second Edition, 2009 1-968.

[37].J.P. Abraham, E.M. Sparrow, J.C.K. Tong, Heat transfer in all pipe flow regimes: laminar, transitional/intermittent, and turbulent, International Journal of Heat and Mass, 3 (2009) 557-563.

[38].E.M. Sparrow, G.K. Kratz, M.J. Schuerger, Evaporation of water from a horizontal surface by natural convection, Journal of Heat Transfer, 105 (1983) 469-475.

[39].E.M. Sparrow, N.T. Littlejohn, J.M. Gorman, J.P. Abraham, Mass transfer and particle separation by swirl-chamber and swirl-tube devices, Numerical Heat Transfer, 64 (2013), 611-620.

[40].E.M. Sparrow, R. Ruiz, L.F.A. Azevedo, Experimental and numerical investigation of natural convection in convergent vertical channels, International Journal of Heat and Mass Transfer, 31 (1988) 907-915.

[41].R.R. Rend, E.M. Sparrow, D.W. Bettenhausen, J.P. Abraham, Parasitic pressure losses in diffusers and in their downstream piping systems for fluid flow and heat transfer, International Journal of Heat and Mass Transfer, 61 (2013) 56-61.

Ватин Н.И., Петриченко М.Р., Корниенко С.В., Горшков А.С., Немова Д.В, Воздушный режим трехслойной стеновой конструкции// Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №6 (45). С. 102-114

Vatin N.I., Petrichenko M.R., Korniyenko S.V., Gorshkov A.S., Nemova D.V. Air mode of a tripple wall, 2016, 6(45), Pp. 102-114(rus)