

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
**«Нижегородский государственный архитектурно-строительный
университет»**

Кафедра отопления и вентиляции

**Тепловлажностный расчет
фасадных систем с воздушным зазором**

Методические указания к курсовой работе
по дисциплине «Строительная теплофизика»
для студентов дневного и заочного факультетов специальностей
«Теплогазоснабжение и вентиляция» и
«Промышленная теплоэнергетика»

Н.Новгород 2005

УДК 692.232.45:699.8

Тепловлажностный расчет фасадных систем с воздушным зазором

Методические указания к курсовой работе по курсу «Строительная теплофизика» для студентов дневного и заочного факультетов специальностей «Теплогасоснабжение и вентиляция» и «Промышленная теплоэнергетика»
Н.Новгород, 2005.

В методических указаниях приведены конструктивные особенности навесных фасадных систем с воздушным зазором. Приведена методика и примеры расчета тепловлажностного режима ограждающих конструкций.

Рис. 6, перечень норм. док. и лит. 15 наим.

Составители: А.Н. Машенков, Е.В. Чебурканова, В.А. Ершов, А.В. Щедров

Содержание

1. Назначение. Достоинства фасадных систем с воздушным зазором (ФСсВЗ).....	4
1.1. Достоинства.....	4
2. Конструктивные решения ФСсВЗ.....	8
3. Теплотехнический расчет.....	14
3.1. Общие требования.....	14
3.2. Определение толщины теплоизоляционного слоя.....	14
3.3. Определение влажностного режима наружных стен.....	17
3.4. Определение параметров воздухообмена в прослойке.....	17
3.5. Определение параметров тепловлажностного режима прослойки.....	18
3.6. Методика определения условного приведенного сопротивления паропрооницанию с учетом вертикальных щелей между облицовочными панелями.....	20
4. Пример теплотехнического расчета наружных стен с вентилируемой воздушной прослойкой.....	21
4.1. Краткая характеристика объекта и нормативные требования.....	21
4.2. Расчет толщины теплоизоляции.....	22
4.3. Расчет влажностного режима бетонных стен.....	23
4.4. Определение скорости движения воздуха и упругости водяного пара на выходе из прослойки.....	26
5. Условные обозначения.....	28
6. Перечень нормативных документов и литературы.....	30

1. Назначение. Достоинства фасадных систем с воздушным зазором (ФСсВЗ).

Вне зависимости от конструкций, применяемых на здании, все их объединяет одна общая задача: они являются защитой от влияния погодных условий, создавая благоприятный климат внутри помещения. Поэтому внешнее покрытие здания должно быть устойчиво к любым проявлениям атмосферных явлений.

Каждая постройка неизбежно подвергается воздействию дождя, зачастую ливневого дождя, а также тающего снега. Кроме того, на любые ежедневные и обусловленные сменой времен года перепады температуры и низкую температуру в зимний период, здание должно обладать надежной теплозащитой и необходимой тепловой аккумулирующей способностью.

При ненастной погоде однослойные стены, выполненные из однородного материала (камня, бетона, глины, дерева и т.д.) могут насквозь пропитаться влагой. При этом перевязка стеной кладки ослабляется, происходит отслоение материала, вымывание солей и, в конечном итоге, разрушение конструкции под действием холода. Существенно ухудшаются теплоизоляционные свойства.

На основании вышеперечисленных воздействий и их последствий, появляются такие типы компоновки, при которых защищающая от воздействия атмосферных явлений оболочка здания выполняется отдельно от несущей конструкции.

Одним из таких климатически проверенных конструктивных решений является система навесных фасадов с регулируемым воздушным зазором. Внешний облик фасадов зданий всегда разный, однако, эффективность действия применяемых систем всегда высока.

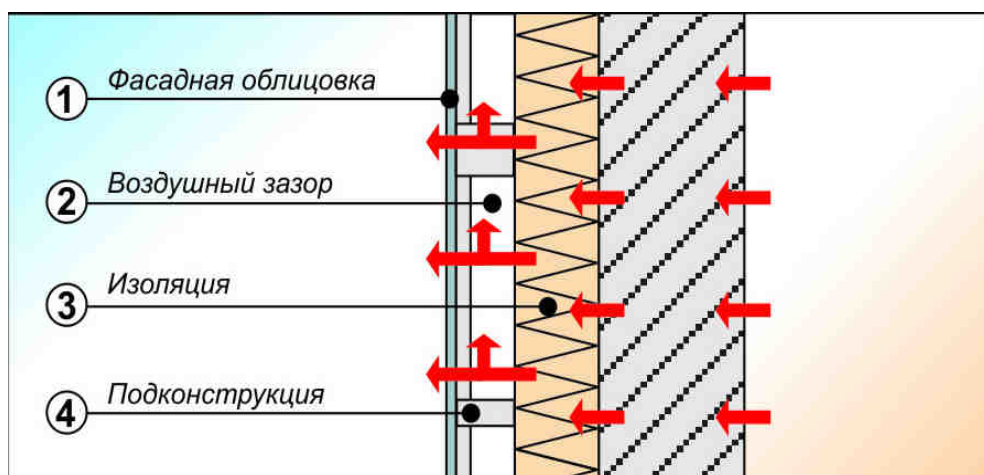
Преимущества строительной технологии фасадных систем с воздушным зазором над однослойными стенами стали известны достаточно давно.

Кроме возможности применения разнообразных архитектурно-конструктивных решений, функциональные преимущества фасадов, как и раньше, являются неоспоримым доводом к их применению.

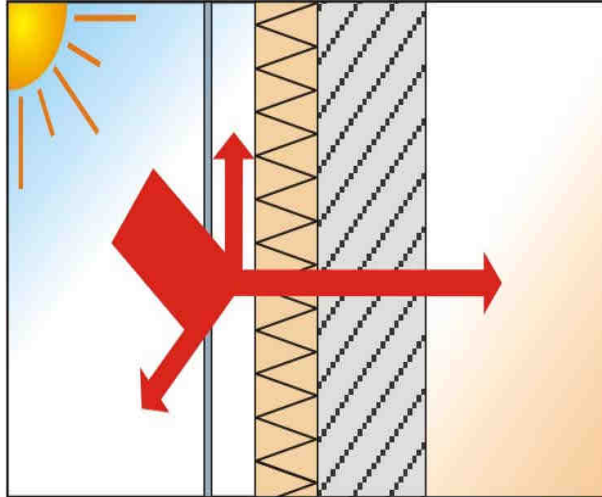
1.1. ДОСТОИНСТВА:

- **Фасады, способные дышать:** циркуляция воздуха и тепловое излучение в воздушном зазоре обеспечивает быстрое удаление влаги из внутренних помещений здания, несущих стен, утеплителя – здание «дышит».

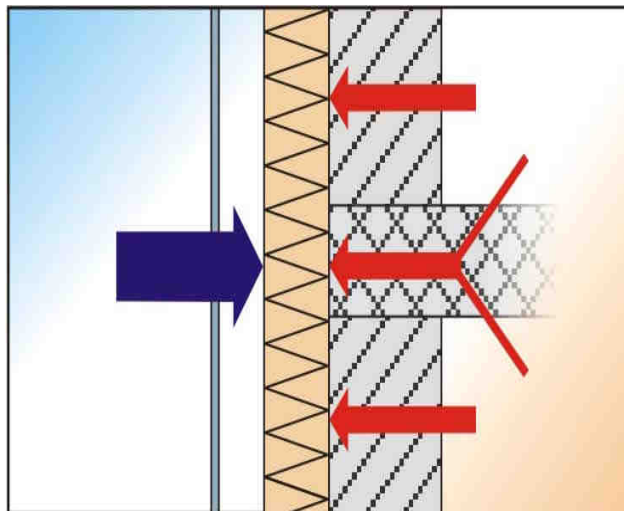
Конструкция навесного вентилируемого фасада:



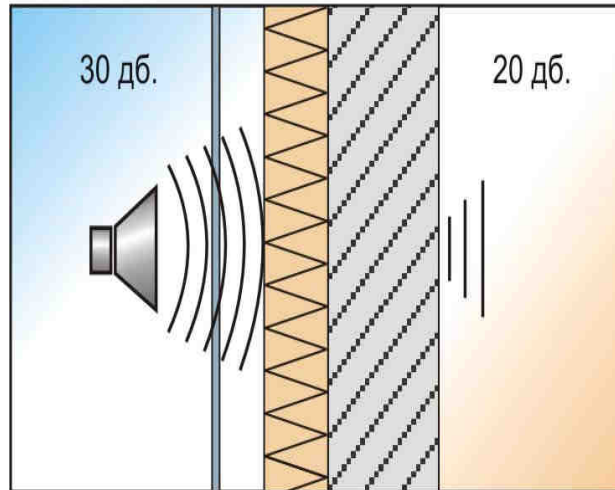
- **Солнечная радиация:** Наличие теплоизоляции и воздушного вентилируемого зазора увеличивает теплоустойчивость наружной стены, уменьшает амплитуду колебаний температуры внутренней её поверхности, что способствует повышению комфортности микроклимата помещения, снижая нагрузку на системы кондиционирования воздуха.



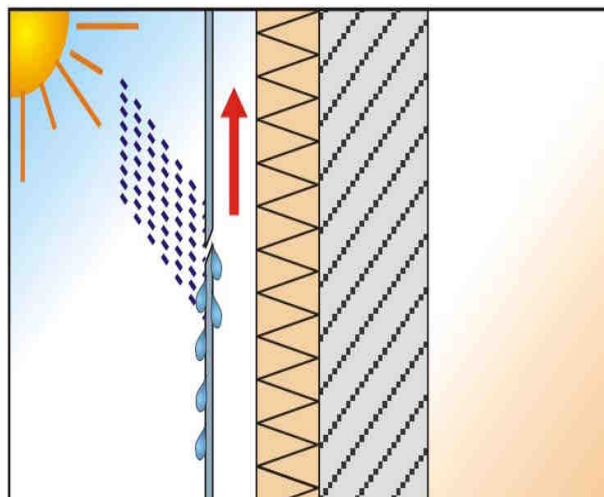
- **Теплоизоляция:** Наличие утеплителя, защищенного от воздействия осадков и, главным образом, от накопления конденсата, позволяет сократить расход энергии на системы кондиционирования микроклимата.



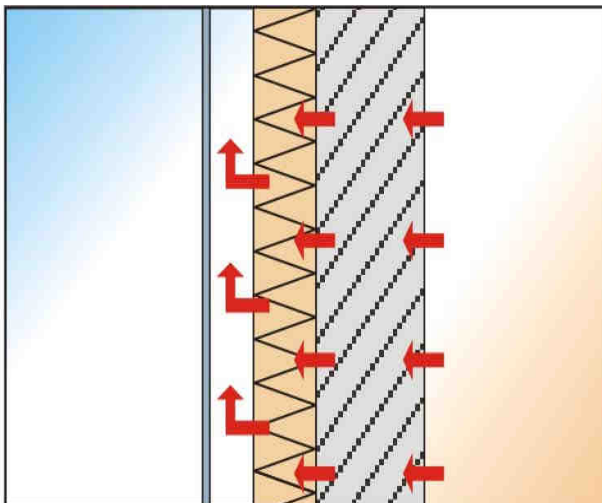
- **Звукоизоляция:** Совместное использование декоративного экрана (облицовки) навесного фасада и теплоизоляции снижает уровень внешнего звукового давления (шумов) в помещении.



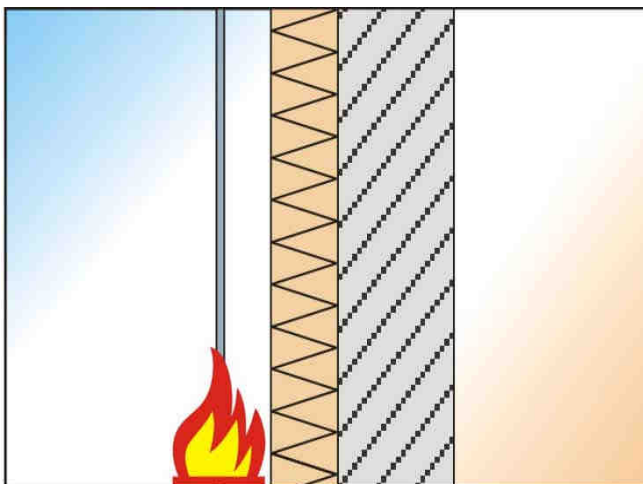
- **Защита от атмосферных осадков:** Конструкция основного несущего профиля спроектирована таким образом, что вся влага, попадающая на поверхность фасада под действием ветра, удаляется в дренаж. Исключается контакт влаги с утеплителем и конструктивной частью стены.



- **Защита от накопления влаги толщи наружной стены:** Слои конструкции наружной стены расположены в порядке убывания сопротивления паропрооницанию по ходу движения водяных паров из помещения наружу. Влага помещения в виде водяных паров диффундирует изнутри помещения в воздушную вентилируемую прослойку и удаляется потоком воздуха между утеплителем и облицовочным экраном.



- **Пожарная безопасность:** Система навесных фасадов включает в себя материалы и изделия, относящиеся к категории негорючих и слабогорючих со слабой дымообразующей способностью, малоопасные по токсичности продуктов горения.



Рентабельность при строительстве новых объектов:

- Высокая потребительская стоимость:
 - Компоновка различных видов облицовочных материалов в различной цветовой гамме придает зданию оригинальный и эстетичный вид.
- Длительный безремонтный срок службы фасадов.
- Высокая технологичность - короткие сроки монтажа:
 - Возможность работы круглый год - полностью исключены «мокрые процессы».
 - Предварительная сборка отдельных элементов непосредственно на строительной площадке.
- Минимизация издержек:
 - Отпадает необходимость в ряде работ:
 - Устранение поврежденного слоя штукатурки.
 - Не требуется предварительной подготовки дефектов стен.
- Высокая ремонтпригодность:
 - Облицовка легко демонтируется, не затрагивая при этом соседние элементы. Отсутствие риска продления сроков работ и повышения их стоимости.

2. Конструктивные решения ФСсВЗ

Конструкции навесных ФСсВЗ состоят из следующих основных частей:

- несущего каркаса (подконструкции);
- слоя теплоизоляции, наличие и величина которого определяется теплотехническим расчетом;
- ветрогидрозащитной паропроницаемой мембраны (может не устанавливаться);
- декоративного экрана (облицовки), устанавливаемого на отnose от слоя теплоизоляции (или от стены-основания).

Слой теплоизоляции в ФСсВЗ устраивают из эффективного негорючего утеплителя – минераловатных плит.

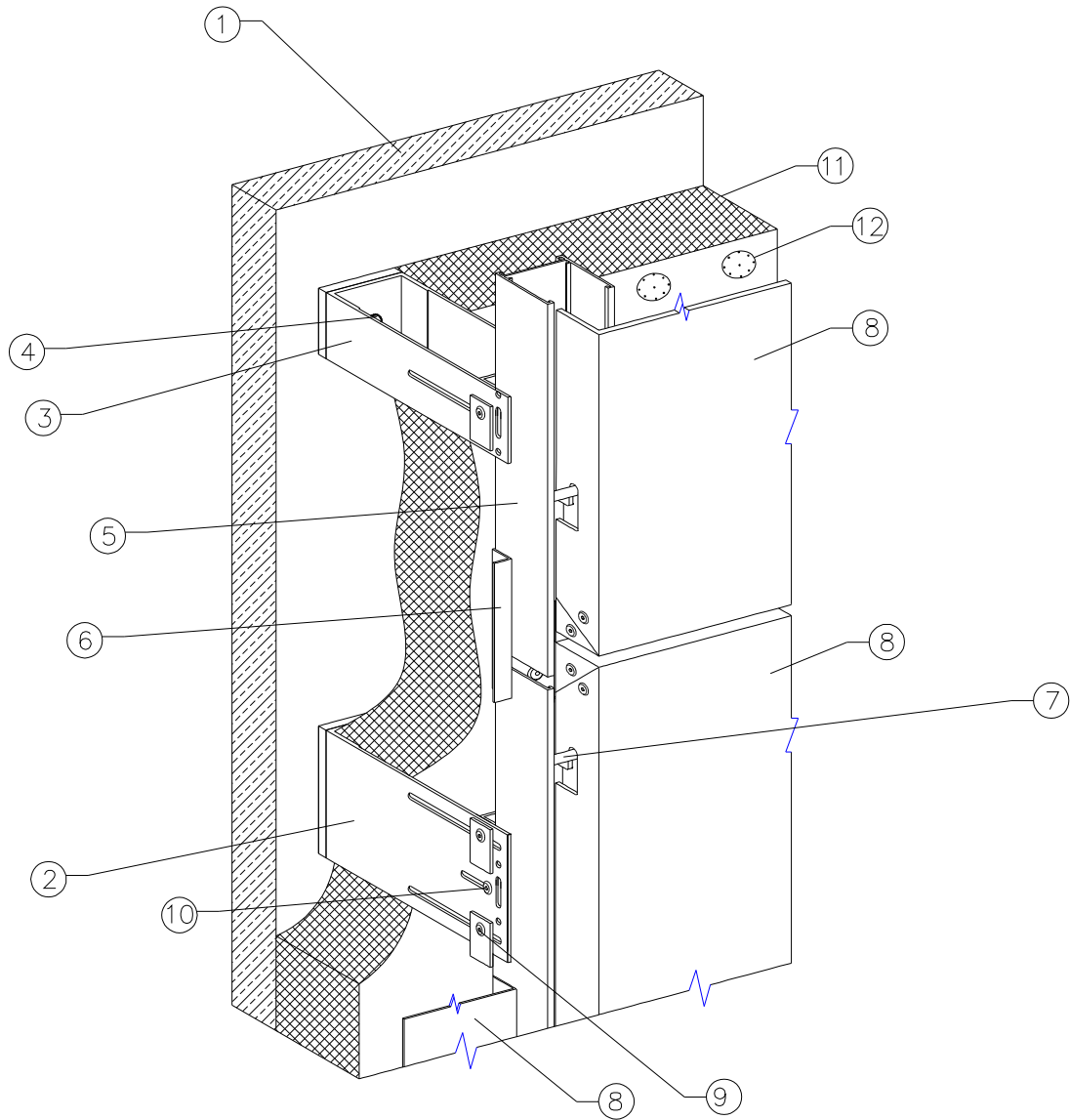
Для предотвращения увлажнения от различного рода атмосферных воздействий, а также от возможного выветривания волокон утеплителя и предотвращения развития воздушных циркуляций внутри теплоизоляционного слоя, устанавливается ветрогидрозащитная паропроницаемая мембрана, или производится установка кашированных с наружной стороны минераловатных плит.

Слой теплоизоляции не является обязательным элементом ФСсВЗ в том случае, если теплозащитные свойства наружного ограждения для зимних условий обеспечены массивом стены-основания или фасад является декоративным.

Несущий каркас (подконструкция), состоящий из металлических кронштейнов и направляющих, воспринимает и перераспределяет нагрузки от защитно-декоративного экрана и передаёт их на основание конструкции каркаса здания или сооружения и стену-основание (при её наличии). Для неотчетственных зданий или сооружений возможно применение «неметаллических» вариантов подконструкции.

Площадь сечения кронштейнов, их количество, теплопроводящие свойства материала, из которого они изготовлены, напрямую влияют на коэффициент теплотехнической однородности «г» слоя теплоизоляции и теплозащитные качества ограждения.

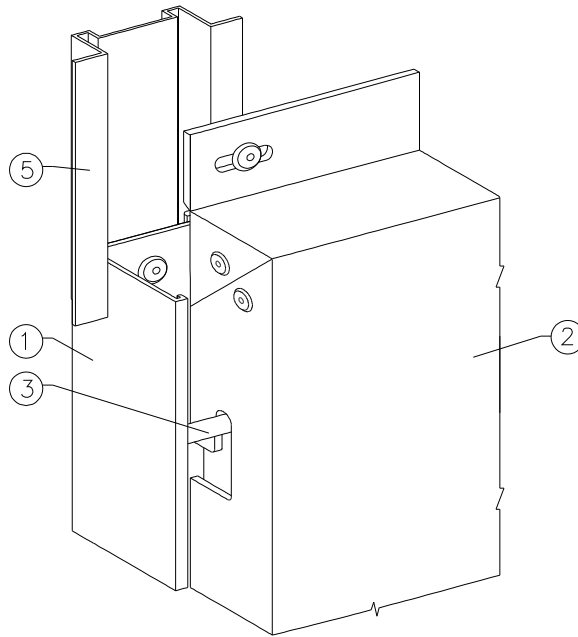
Декоративный экран (облицовка) защищает слой теплоизоляции и несущие конструкции здания от атмосферных воздействий и выполняет функции архитектурного дизайна.



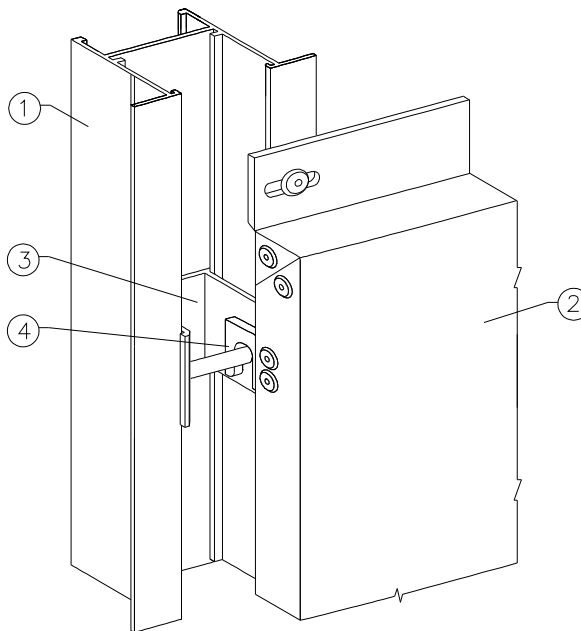
- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| 1. Основание. | 7. Горизонтальный штифт. |
| 2. Несущий кронштейн с салазкой. | 8. Кассетная панель |
| 3. Опорный кронштейн с салазкой. | 9. Шайба с рифлением и заклепка. |
| 4. Анкерный болт. | 10. Заклепка. |
| 5. Вертикальный профиль. | 11. Утеплитель. |
| 6. Дренажный элемент. | 12. Тарельчатый дюбель. |

Рис. 2.1. Конструктивный вариант ФССВЗ с облицовкой кассетными панелями.

а)



б)

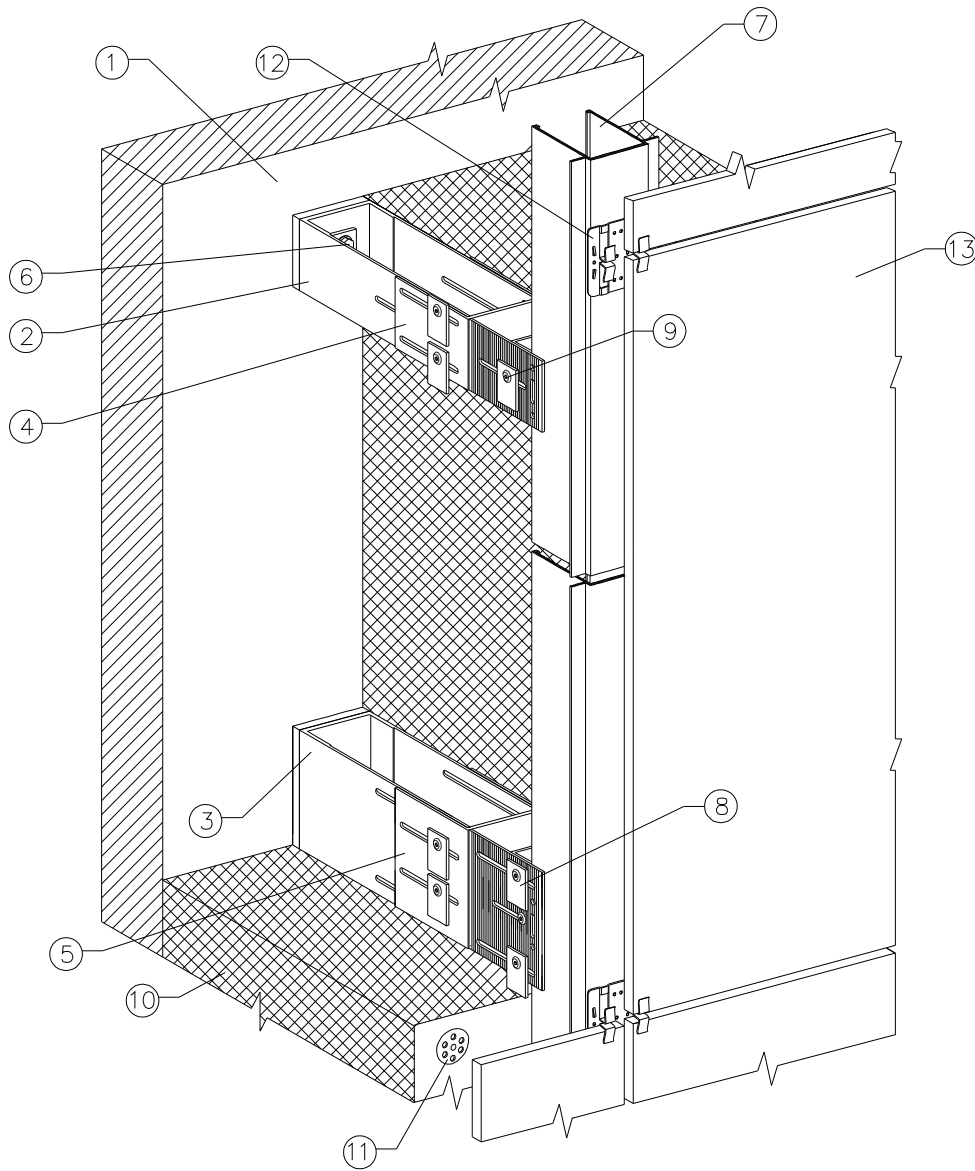


1. Вертикальный профиль.
2. Кассетная панель.
3. Салазка с горизонтальным штифтом.
4. Крепежный элемент «икля».
5. Дренажный элемент.

Рис. 2.2. Конструктивный вариант ФСсВЗ с облицовкой кассетными панелями.

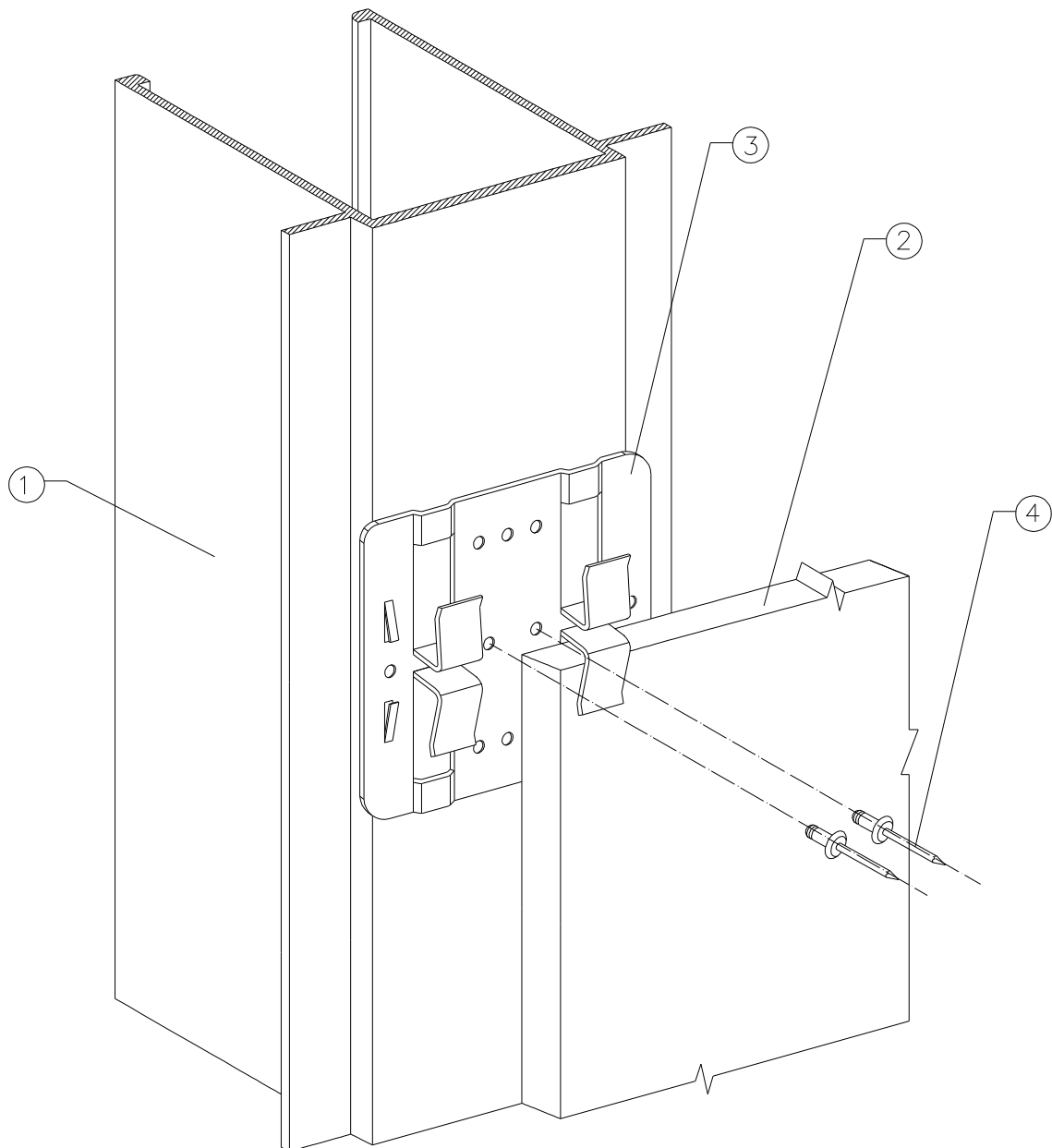
а) узел навески кассетных панелей

б) узел навески кассетных панелей с помощью крепежного элемента «икля».



1. Основание.
2. Кронштейн опорный.
3. Кронштейн несущий.
4. Удлинитель опорного кронштейна с салазкой.
5. Удлинитель несущего кронштейна с салазкой.
6. Анкерный болт.
7. Вертикальный профиль
8. Шайба с рифлением.
9. Заклепка
10. Утеплитель.
11. Тарельчатый дюбель.
12. Кляммер.
13. Плиты из керамогранита.

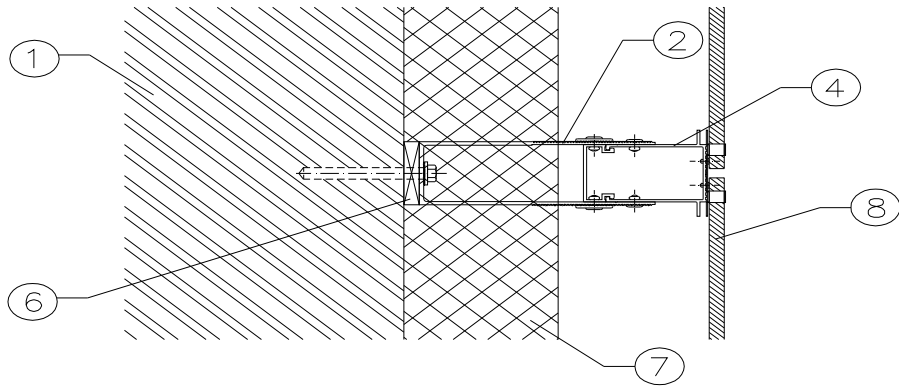
Рис. 2.3. Конструктивный вариант ФССВЗ с облицовкой плитами керамогранита на кляммерах.



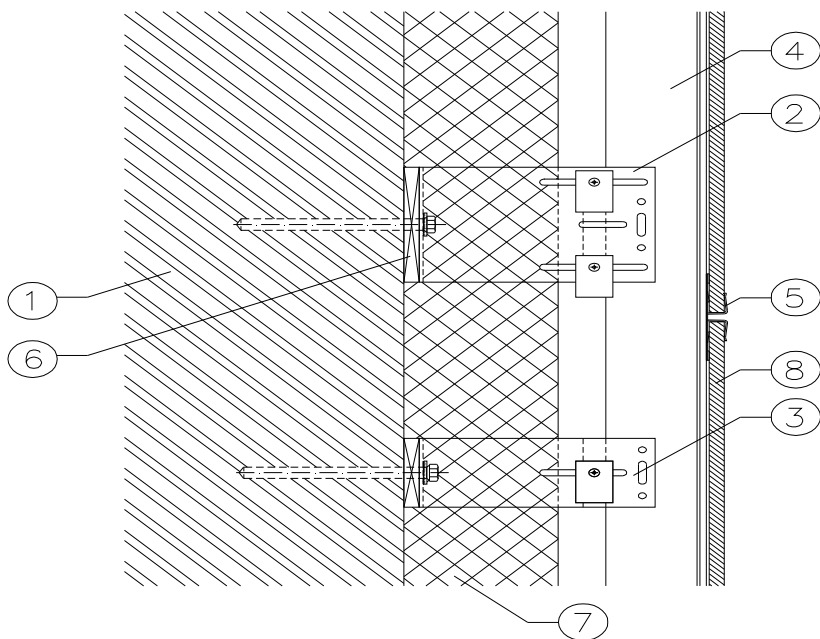
1. Вертикальный профиль.
2. Плита керамогранита.
3. Кляммер.
4. Заклепка.

Рис. 2.4. Конструктивный вариант ФСсВЗ с облицовкой плитами керамогранита.
Узел открытого крепления плит керамогранита.

а)



б)



- | | |
|--------------------------|--------------------------------|
| 1. Основание. | 5. Кляммер. |
| 2. Несущий кронштейн. | 6. Термоизолирующая прокладка. |
| 3. Опорный кронштейн. | 7. Утеплитель минераловатный. |
| 4. Вертикальный профиль. | 8. Плита керамогранита. |

Рис. 2.5. Конструктивный вариант ФСсВЗ с облицовкой плитами керамогранита на кляммерах.

а – горизонтальный разрез
б – вертикальный разрез

3. Теплотехнический расчет

Методика теплотехнического расчета базируется на требованиях СНиП 23-02 «Тепловая защита зданий» [4].

3.1. Общие требования

Расчет наружных стен с экраном и вентилируемой воздушной прослойкой основан на расчете теплотехнических характеристик стен и расчете влажностного режима.

Теплотехнический расчет наружных стен с вентилируемой прослойкой включает в себя:

- выбор материала теплоизоляционного слоя;
- расчет и подбор слоя утеплителя;
- расчет влажностного режима;
- определение параметров воздухообмена в прослойке;
- определение температурно-влажностного режима прослойки;
- определение условного приведенного сопротивления паропроницанию экранов с учетом швов-зазоров между панелями-экранами.

Таким образом, для стен с вентилируемой воздушной прослойкой проводится несколько теплотехнических расчетов: расчет теплового режима стены и прослойки и влажностного режима стены и прослойки.

3.2. Определение толщины теплоизоляционного слоя

По температуре внутреннего воздуха и средней температуре отопительного периода и его продолжительности определяют градусо-сутки отопительного периода D_d , °С·сут, по формуле (2) [4]:

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) z_{ht}, \text{ °С·сут} \quad (1)$$

где t_{int} - расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая для расчета ограждающих конструкций группы зданий по поз. 1 таблицы 4 по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по ГОСТ 30494 (в интервале 20 - 22 °С), для группы зданий по поз. 2 таблицы 4 - согласно классификации помещений и минимальных значений оптимальной температуры по ГОСТ 30494 (в интервале 16 - 21 °С), зданий по поз. 3 таблицы 4 - по нормам проектирования соответствующих зданий;

t_{ht} , z_{ht} - средняя температура, °С, и продолжительность, сут, отопительного периода, принимаемые по СНиП 23-01 [3] для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 10 °С - при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых, и не более 8 °С - в остальных случаях.

По градусо-суткам отопительного периода, отличающихся от табличных, определяют приведенное сопротивление теплопередаче стены по формуле (1) [4]:

$$R_{req} = aD_d + b, \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт} \quad (2)$$

где D_d - градусо-сутки отопительного периода, °С·сут, для конкретного пункта;
 a , b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 4 [4].

Термическое сопротивление R , м²·°С/Вт, однородного слоя многослойной ограждающей конструкции следует определять по формуле (6) [7]:

$$R = \delta/\lambda, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \quad (3)$$

где δ – толщина слоя, м;

λ – коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/(м·°C).

Термическое сопротивление ограждающей конструкции R_k , м²·°C/Вт, с последовательно расположенными однородными слоями следует определять как сумму термических сопротивлений отдельных слоев:

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{a.l}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \quad (4)$$

где R_1, R_2, \dots, R_n – термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции, м²·°C/Вт, определяемые по формуле (3);

$R_{a.l}$ – термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, м²·°C/Вт принимаемое по таблице 7 СП 23-101 [7].

Сопротивление теплопередаче R_o , м²·°C/Вт, однородной однослойной или многослойной ограждающей конструкции с однородными слоями или ограждающей конструкции в удалении от теплотехнических неоднородностей не менее чем на две толщины ограждающей конструкции следует определять по формуле:

$$R_o = R_{si} + R_k + R_{se}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \quad (5)$$

где $R_{si} = 1/\alpha_{int}$, α_{int} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/м²·°C, принимаемый по таблице 7 СНиП 23-02 [4];

$R_{se} = 1/\alpha_{ext}$, α_{ext} – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, Вт/м²·°C, принимаемый по таблице 8 СП 23-101[7];

R_k – то же, что и в формуле (4).

В основу конструктивных решений наружных стен при определении приведенных сопротивлений теплопередаче главных фрагментов принимаются толщины утеплителя, рассчитанные по формуле:

$$\delta_{ym} = \left(\frac{R_{req}}{r} - R_1 - R_n - \frac{1}{\alpha_{int}} - \frac{1}{\alpha_{ext}} \right) \cdot \lambda_{ym}, \text{ м} \quad (6)$$

где R_{req} – требуемое приведенное сопротивление теплопередаче стен, м² · °C/Вт;

R_1, R_n – то же, что и в формуле (4);

$\alpha_{int}, \alpha_{ext}$ – то же, что и в формуле (5).

r – коэффициент теплотехнической однородности по табл. 1; 2.

Таблица 1.

Значения r кирпичных утепленных снаружи стен

Толщина, м		Коэффициент r при λ , Вт/м °C		
стены (без дополнительного утепления)	утеплителя	0,04	0,05	0,08
0,38	0,1	0,705	0,726	0,73
	0,15	0,693	0,713	0,73
	0,2	0,68	0,7	0,715
0,51	0,1	0,694	0,714	0,73
	0,15	0,682	0,702	0,72
	0,2	0,667	0,687	0,702

Толщина, м		Коэффициент γ при λ , Вт/м °С			
0,64	стены (без дополнительного утепления)	утеплителя	0,04	0,05	0,08
		0,1	0,685	0,7	0,715
		0,15	0,675	0,69	0,705
		0,2	0,665	0,68	0,695

Примечания:

1. В таблице даны γ для фрагмента с оконным проемом (проемность 25 %).
2. Для получения значений γ с учетом глухих участков приведенные в таблице значения умножаются на 1,05.

Таблица 2.

Значения γ бетонных утепленных снаружи стен

Толщина, м		Коэффициент γ при λ , Вт/м °С				
0,3	панели (без дополнительного утепления)	утеплителя	0,04	0,05	0,08	
			0,05	0,9	0,92	0,95
			0,1	0,84	0,87	0,88
0,35			0,15	0,81	0,84	
			0,05	0,87	0,9	0,93
			0,1	0,8	0,83	0,86
0,4			0,15	0,78	0,81	
			0,05	0,82	0,87	0,9
			0,1	0,77	0,8	0,83
			0,15	0,75	0,78	0,8
			0,2	0,74	0,765	0,785

Для проверки правильности принятых толщин утепляющих слоев определяются приведенные сопротивления теплопередаче наружных стен для основных «фрагментов». Каждый рассчитываемый фрагмент делится на отдельные участки, характеризующиеся одним или несколькими видами теплопроводных включений.

Приведенное сопротивление теплопередаче R_0^r всей неоднородной ограждающей конструкции определяется по формуле

$$R_0^r = A / \sum_{i=1}^m (A_i / R_{0,i}^r), \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} \quad (7)$$

где A_i , $R_{0,i}^r$ - соответственно площадь i -го участка характерной части ограждающей конструкции, м^2 , и его приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$;

A - общая площадь конструкции, равная сумме площадей отдельных участков, м^2 ;
 m - число участков ограждающей конструкции с различным приведенным сопротивлением теплопередаче.

Если $R_0^{rcp} \geq R_{req}$ по табл. 4 СНиП 23-02 [4], конструкция стены удовлетворяет требованиям теплотехнических норм. Если $R_0^{rcp} < R_{req}$, то следует либо увеличить толщину утепляющего слоя, либо рассмотреть возможность включения в проект энерго-сберегающих мероприятий (утепление узлов и т.п.).

Для практических расчетов допускается при определении R_0^r коэффициент тепло-технической однородности наружных стен с вентилируемой прослойкой применять по табл. 1, 2.

Для расчета значения термического сопротивления наружных стен при наличии в них глухих (без проемов) участков может быть также использована формула:

$$R_o^{rcp} = R_o^r \cdot n, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} \quad (8)$$

где: $n = 1,05$ - коэффициент, учитывающий наличие глухих участков в наружных стенах.

3.3. Определение влажностного режима наружных стен

Влажностный режим наружных стен может определяться двумя методами. По СНиП 23-02 [4] и исходя из баланса влаги в годовом цикле.

* В связи с отсутствием данных по паропроницаемости пленки «ТΥVEK» ее коэффициент паропроницаемости «μ» принят равным «μ» утеплителя.

Определение влажностного режима наружных стен в годовом цикле производится в следующей последовательности:

1. Определяются исходные данные для расчета;
2. Определяются сопротивления паропроницанию слоев конструкции наружной стены, параметры внутреннего и наружного воздуха;
3. Определяется приток и отток влаги (пара) к рассматриваемому сечению по формулам:

$$\Delta P_1 = \frac{e_{int} - e_{\tau}}{R_{en}} \quad \text{и} \quad \Delta P_2 = \frac{e_{\tau} - e_{ext}}{R_{on} - R_{en}}, \text{ Г/М}^2 \cdot \text{ч} \quad (9)$$

где: e_{int} , e_{ext} – упругость водяного пара внутреннего и наружного воздуха, Па;
 e_{τ} – то же, в рассматриваемом сечении, Па;

$$e_{\tau} = e_{int} - \frac{e_{int} - e_{ext}}{R_{on}} \sum R_{n.cl}, \text{ Па} \quad (10)$$

R_{en} – сопротивление паропроницанию от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации (с учетом пограничного слоя), $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$;

$\sum R_{n.cl}$ – сумма сопротивлений паропроницанию слоев до рассматриваемого сечения, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$;

R_{on} – сопротивление паропроницанию всей стены, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$.

По указанным формулам определяется упругость водяного пара e_i в характерных сечениях конструкции за годовой цикл.

Если e_{τ} превышает максимальную упругость водяного пара E_{τ} , то в данном сечении возможно образование конденсата.

3.4. Определение параметров воздухообмена в прослойке

Движение воздуха в прослойке осуществляется за счет гравитационного (теплого) и ветрового напоров. Скорость движения воздуха в прослойках V_{np} может определяться по следующим формулам:

$$V_{np} = \sqrt{\frac{(\kappa_1 - \kappa_2) V_n^2 + 0,08 H (t_{cp} - t_{ext})}{\sum \xi}}, \text{ м/с} \quad (11)$$

где κ_1 , κ_2 - аэродинамические коэффициенты на входе в прослойку и выходе из нее СНиП 2.01.07-85 [2];

V_n - скорость ветра, м/с;
 H – разности высот от входа воздуха в прослойку до ее выхода из нее, м;
 t_{cp}, t_{ext} - средняя температура воздуха в прослойке и температура наружного воздуха, °С;
 $\Sigma \xi$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений (определяется сложением аэродинамических сопротивлений).

Другим вариантом определения V_{np} служит формула:

$$V_{np} = \sqrt{\frac{\gamma_{ext} \cdot V_n^2 (\kappa_1 - \kappa_2) + 2gH(\gamma_{ext} - \gamma_{np})}{\gamma_{np} \cdot \Sigma \xi}}, \text{ м/с} \quad (12)$$

$\gamma_{ext}, \gamma_{np}$ – плотность наружного воздуха и в воздуха прослойке кг/м³.

Другой вариант определения V_{np} по разности давлений воздуха на входе и выходе:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\Delta} &= \Delta P_{ex} - \Delta P_{вых}, \text{ кг/м}^2 \\ \Delta P_{ex} \text{ и } \Delta P_{вых} &= H (\gamma_{ext} - \gamma_{np}) + 0,5 \gamma_{ext} \cdot V_n^2 (\kappa_1 - \kappa_2), \text{ кг/м}^2 \end{aligned} \quad (13)$$

V_{np} по формуле

$$V_{np} = \sqrt{\frac{\Delta P_{\Delta} \cdot 2g}{\gamma_{np} \cdot \Sigma \xi}}, \text{ м/с} \quad (14)$$

При расположении воздушной прослойки на одной стороне здания ($\kappa_1 \approx \kappa_2$), решение упрощается и формула (11) принимает вид:

$$V_{np} = \sqrt{\frac{0,08H(t_{cp} - t_{ext})}{\Sigma \xi}}, \text{ м/с} \quad (15)$$

Формула (12) примет вид:

$$V_{np} = \sqrt{\frac{2gH(\gamma_n - \gamma_{np})}{\gamma_{np} \cdot \Sigma \xi}}, \text{ м/с} \quad (16)$$

γ_{np} – плотность воздуха в прослойке, кг/м³.

Расход воздуха в прослойке определяется по формуле:

$$W = V_{np} \cdot 3600 \cdot \delta_{np} \cdot \gamma_{np}, \text{ кг/п.м.}\cdot\text{ч} \quad (17)$$

где δ_{np} – ширина воздушной прослойки длиной 1 м, или площадь F_{np} , м²/п.м.

Плотность воздуха в прослойке γ_{np} следует рассчитывать по формуле:

$$\gamma_{np} = 3463/(273 + \tau_o) \cdot g, \text{ кг/м}^3 \quad (17')$$

3.5. Определение параметров тепловлажностного режима прослойки

Температура входящего в прослойку воздуха τ_o определяется по формуле:

$$\tau_o = t_{ext} + \frac{t_{int} - t_{ext}}{\alpha_{int}(B_w + 23B_o)}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (18)$$

где t_{int}, t_{ext} - расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха, С;

α_{int} - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/м²·°С;

B_w - безразмерный критерий, характеризующий изменение теплозащитных качеств стыка при фильтрации воздуха и равный

$$B_w = (\lambda_y \cdot R_o^r y) / l_n \quad (18')$$

где l_n - расстояние от входа в воздухозаборную щель до искомой точки, м;

$R_o^r y$ - приведенное сопротивление теплопередаче конструкции в сечении по воздухозаборной щели, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

λ_y - условная теплопроводность, $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{°C}$;

B_o - критерий, характеризующий теплозащитные качества части стыка от внутренней термической границы конструкции до искомой точки и равный

$$B_o = (h \cdot R_o^r \epsilon) / l_n \quad (18'')$$

где l_n - расстояние от входа в воздухозаборную щель до искомой точки, м;

h - высота воздухозаборной щели, м;

$R_o^r \epsilon$ - приведенное сопротивление теплопередаче конструкции в сечении по воздухозаборной щели, считая от искомой точки до внутренней термической границы конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Допускается определять температуру воздуха, входящего в воздушную прослойку, по формуле:

$$\tau_o = n \cdot t_{int}, \text{°C} \quad (19)$$

где $n = 0,95$.

Температура воздуха по длине прослойки определяется по формуле:

$$t_{np} = \frac{(\kappa_{int} \cdot t_{int} + \kappa_{ext} \cdot t_{ext}) + [\tau_o (\kappa_{int} + \kappa_{ext}) - (\kappa_{int} \cdot t_{int} + \kappa_{ext} \cdot t_{ext})] \cdot e^{-[(\kappa_{int} + \kappa_{ext}) h_y / WC]}}{\kappa_{int} + \kappa_{ext}}, \text{°C} \quad (20)$$

где κ_{int} и κ_{ext} - коэффициенты теплопередачи внутреннего и наружного частей стены до середины прослойки, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$;

t_{int}, t_{ext} - расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха, °C ;

h_y - расстояние между щелями, служащими для поступления (или вытяжки) воздуха, м;

W - расход воздуха в прослойке, $\text{кг}/\text{п.м.} \cdot \text{ч}$;

C - удельная теплоемкость воздуха, $\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{°C}$;

τ_o - температура входящего в прослойку воздуха по формуле (18), °C .

При определении термического сопротивления прослойки $R_{e,n}$ следует пользоваться формулами:

$$R_{np} = \frac{1}{\alpha_{np}}, \text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \quad (21)$$

$$\text{где } \alpha_{np} = 5,5 + 5,7 V_{np} + \alpha_{л}, \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C} \quad (22)$$

где $\alpha_{л}$ - коэффициент лучистого теплообмена, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$;

V_{np} - скорость движения воздуха в воздушной прослойке, $\text{м}/\text{с}$.

Действительная упругость водяного пара на выходе из прослойки определяется по формуле:

$$e_y = \frac{(M_{int} \cdot e_{int} + M_{ext} \cdot e_{ext}) + [e_o (M_{int} + M_{ext}) - (M_{int} \cdot e_{int} + M_{ext} \cdot e_{ext})] \cdot e^{-[(M_{int} + M_{ext}) h_y / WB]}}{M_{int} + M_{ext}}, \text{Па} \quad (23)$$

где M_{int} и M_{ext} – коэффициенты массопередачи, мг/м²·ч·Па равны соответственно:

$$M_{int} = \frac{1}{\Sigma R_{en}}; \quad M_{ext} = \frac{1}{\Sigma R_{nn}}, \quad \text{мг/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} \quad (24)$$

R_{en} и R_{nn} – сумма сопротивлений паропроницанию от внутренней поверхности до воздушной прослойки и от воздушной прослойки до наружной поверхности, м·ч·Па/мг;

e_{int} и e_{ext} – действительная упругость водяного пара с внутренней стороны стены и снаружи, Па;

e_o – упругость водяного пара воздуха, входящего в прослойку, Па;

h_y – расстояние между щелями, служащими для поступления воздуха, м;

W – расход воздуха в прослойке, кг/п.м.·ч;

$$B = \frac{1,058}{1 + t_{np}/273} \quad (25)$$

где t_{np} – температура воздуха по длине прослойки по формуле(20),°С.

Полученная по формуле (23) величина упругости водяного пара на выходе из прослойки e_y должна быть меньше максимальной упругости водяного пара E_y .

3.6. Методика определения условного приведенного сопротивления паропроницанию с учетом вертикальных щелей между облицовочными панелями.

Для расчета используются либо коэффициенты паропроницаемости материалов панели по СНиП 23-02 [4], либо полученные экспериментально.

Расчет приведенного сопротивления паропроницаемости панелей с учетом щелей производится в такой последовательности:

1) Определяется условное сопротивление паропроницанию в стыковых щелях по формуле:

$$R_{vp} = \frac{\delta_3}{\eta_{ш}/\Sigma \xi_{ш}}, \quad \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг} \quad (26)$$

где $\eta_{ш} = 6,5$, г/ м · ч · мм рт. ст.;

$\Sigma \xi_{ш}$ – местные сопротивления проходу воздуха;

δ_3 – толщина экрана, м.

2) Определяется сопротивление паропроницанию панелей по глади по формуле:

$$R'_{vp} = \frac{\delta_3}{\mu_3}, \quad \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг} \quad (27)$$

где μ_3 – коэффициент паропроницаемости панели по СНиП 23-02 [4], мг/ м · ч · мм рт. ст.

3) Определяется приведенное условное сопротивление паропроницанию панелей с учетом щелей R_{vp}^{np} по формуле

$$R_{vp}^{np} = \frac{\Sigma F}{\frac{F_{2л}}{R_{vp}} + \frac{F'}{R'_{vp}}}, \quad \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг} \quad (28)$$

где ΣF - суммарная расчетная площадь панели (как правило принимается на 1 м^2);
 $F_{\text{зл}}$ - площадь панели без щелей, м^2 ;
 F' - площадь щелей, через которые поступает воздух. Как правило площадь выходных щелей в верхней части панели не учитывается, м^2 ;
 R_{vp} и R'_{vp} – то же что и в формулах (26), (27).

4. Пример теплотехнического расчета наружных стен с вентилируемой воздушной прослойкой

Климатические параметры района строительства принимаются по ТСН 23-301-97[12] для г. Н Новгород.

Для жилых, административных и промышленных зданий климатические параметры имеют следующие значения:

- средняя температура наиболее холодной пятидневки $t_{\text{ext}} = -31^\circ\text{C}$;
- средняя температура отопительного периода $t_{\text{ht}} = -4,1^\circ\text{C}$;
- продолжительность отопительного периода $z_{\text{ht}} = 215$ сут.

Для детских и лечебных учреждений климатические параметры имеют следующие значения:

- средняя температура наиболее холодной пятидневки $t_{\text{ext}} = -31^\circ\text{C}$;
- средняя температура отопительного периода $t_{\text{ht}} = -3,2^\circ\text{C}$;
- продолжительность отопительного периода $z_{\text{ht}} = 231$ сут.

4.1. Краткая характеристика объекта и нормативные требования

Для расчета принято многоэтажное (6-ти этажное) жилое здание, расположенное в г. Н.Новгород.

Наружные стены двух вариантов: с внутренним слоем из монолитного железобетона $\gamma_0 = 2500 \text{ кг/м}^3$, толщиной $0,18 \text{ м}$ ($\lambda_{\text{Б}} = 2,04 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$) и кирпича, толщиной $0,51 \text{ м}$ ($\lambda_{\text{Б}} = 0,87 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$).

Снаружи конструктивного слоя располагается утеплитель - базальтовая минвата «ROCKWOOL» толщиной, определяемой расчетом с $\lambda = 0,045 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$, покрытая паропроницаемой влаговетрозащитной пленкой «TYVEK». На наружную сторону стены монтируется несущий каркас, состоящий из алюминиевых кронштейнов и линейных вертикальных направляющих, на которые навешивается экран - облицовочный слой из кассетных панелей. Кассетные панели шириной $0,6$ и высотой $1,2 \text{ м}$ выполнены из композитного листового материала «Alucobond» толщиной 4 мм . Кассетные панели, укрепленные на несущем каркасе, установлены с воздушным зазором относительно слоя утеплителя 60 мм . В нижней части экрана (у цоколя) устраивается приточное входное щелевое отверстие, а в верхней части (у карниза) – вытяжное выходное щелевое отверстие. Кроме того, обмен воздуха происходит через зазоры горизонтальных стыков отдельных кассетных панелей. Толщины утеплителя и воздушного зазора определяются соответствующими расчетами.

Требования к теплотехническим характеристикам конструкций содержатся в СНиП 23-02 [4].

Требования к сопротивлению теплопередаче конструкций приведены в [4], исходя из санитарно-гигиенических, комфортных условий и условий энергосбережения.

На основе [4] и [12] составлена таблица 3 исходных расчетных данных, где представлены требуемые сопротивления теплопередаче наружных стен жилых домов.

Таблица 3.

Значения нормативных требований к наружным ограждениям жилых зданий

№ пп	Название нормативного документа	R_{req} м ² ·°С/Вт	D_d °С·сут	Город
1	2	3	4	5
1.	ТСН 23-301-97 [12], СНиП 23-02-2003 табл. 4	3,07	4770	Н.Новгород

4.2. Расчет толщины теплоизоляции

Толщина теплоизоляции «ROCKWOOL» типа «Венти-Баттс» кирпичной (рис. 4.2.1) стены для г. Н.Новгород равна:

$$\delta_{yt} = \left(\frac{3,07}{0,702} - \frac{0,02}{0,87} - \frac{0,51}{0,87} - 0,10 - \frac{0,001}{0,045} - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{23} \right) \times 0,045 = 0,157, \text{ м}$$

где 3,07 - приведенное сопротивление теплопередаче стен жилого дома для г. Н.Новгорода, м²·°С/Вт;

0,702 - коэффициент теплотехнической однородности, см. табл. 1 (при проемности 25 %);

0,10 - термическое сопротивление вентилируемой воздушной прослойки условно принимаем равным 3% от приведенного сопротивления теплопередаче, м²·°С/Вт;

0,001 – толщина паропроницаемой влаговетрозащитной пленки «ТΥVEK», м.

0,045 - коэффициент теплопроводности «ROCKWOOL» типа «Венти-Баттс», Вт/м °С.

Принимаем толщину утеплителя «ROCKWOOL» типа «Венти-Баттс» равной 160 мм.

Сопротивление теплопередаче по глади кирпичной наружной стены при толщине утеплителя «ROCKWOOL» типа «Венти-Баттс» 0,16 м:

$$R_o = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,51}{0,87} + \frac{0,16}{0,045} + 0,1 + \frac{0,001}{0,045} + \frac{1}{23} = 4,446, \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$$

Приведенное фактическое сопротивление теплопередаче:

$$R_o^{факт} = 4,446 \cdot 0,702 = 3,12, \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$$

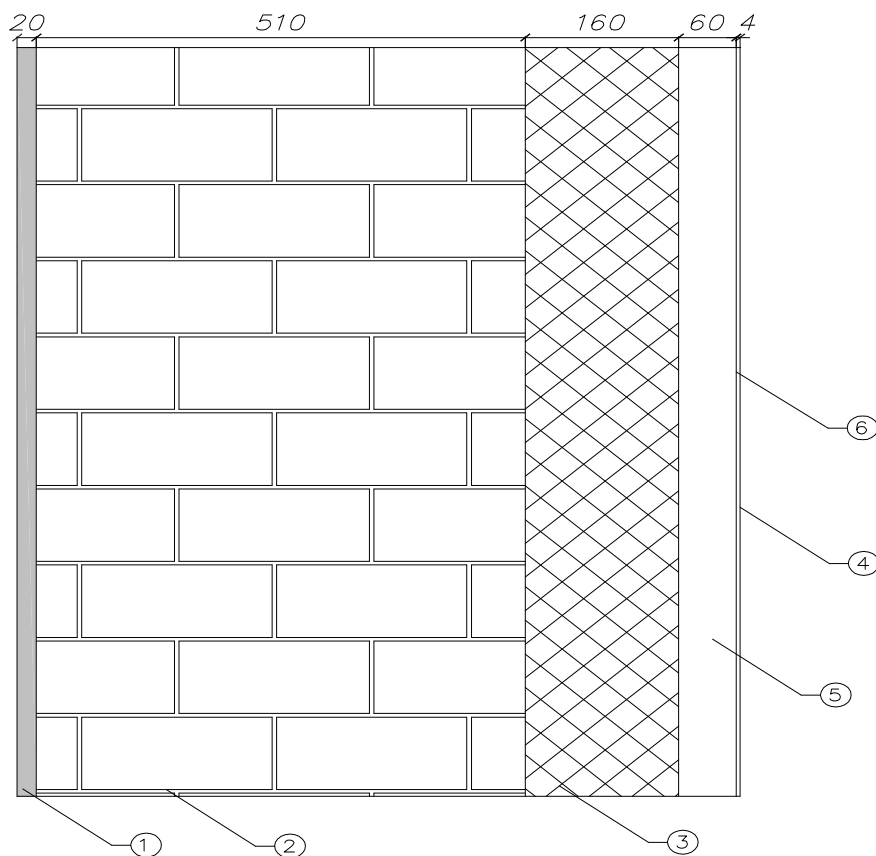
Толщина теплоизоляции из базальтовой минваты для бетонной стены для г. Н.Новгорода:

$$\delta_{yt} = \left(\frac{3,07}{0,83} - \frac{0,18}{2,04} - 0,1 - \frac{0,001}{0,045} - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{23} \right) \cdot 0,045 = 0,15, \text{ м}$$

где $r = 0,83$ в соответствии с табл. 2 (при проемности 25 %).

Сопrotивление теплопередаче по глади наружной бетонной стены условное:

$$R_o = \frac{1}{8,7} + \frac{0,18}{2,04} + \frac{0,15}{0,045} + 0,1 + \frac{0,001}{0,045} + \frac{1}{23} = 3,702, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$



- 1 – штукатурный известково-песчаный раствор;
- 2 – кирпичная кладка;
- 3 – минеральная вата;
- 4 – панель экрана;
- 5 – воздушная прослойка;
- 6 – зона возможной конденсации.

Рис. 4.2.1. Схема наружной стены для расчета влажностного режима.

Приведенное сопротивление теплопередаче:

$$R_o^{\text{факт}} = 3,702 \cdot 0,83 = 3,07 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Толщина утеплителя может быть скорректирована в соответствии с номенклатурой выпускаемых изделий, что не повлияет на правомочность полученных расчетов и выводов.

4.3. Расчет влажностного режима бетонных стен

Выполняется расчет влажностного режима бетонных наружных стен с экраном по СНиП 23-02 [4] по глухой части без учета стыковых швов для г. Н.Новгорода.

Влажностный режим наружных стен характеризуется процессами влагонакопления, зависящими от ряда внешних факторов и физических характеристик, от сопротивления паропрооницанию конструкции. Расчетное сопротивление паропрооницанию R_{vp} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$ (до плоскости возможной конденсации) должно быть не менее большего из требуемых сопротивлений паропрооницанию R_{vp1}^{req} , из условия недопустимости накопления влаги за год эксплуатации и R_{vp2}^{req} из условия ограничения накопления влаги в конструкции за период с отрицательным среднемесячными температурами.

Расчет ведется с учетом того, что плоскость возможной конденсации располагается на внешней границе утеплителя.

В период эксплуатации в зимних условиях температура внутреннего воздуха $t_{int} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, а относительная влажность $\varphi = 55 \%$.

Расчетное сопротивление паропрооницанию наружной стены до плоскости возможной конденсации R_{vp} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$:

$$R_{vp} = \frac{0,18}{0,03} + \frac{0,16}{0,3} = 6,533, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

Расчетное сопротивление паропрооницанию части ограждающей конструкции, R_{vp} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации равно:

$$R_{vp} = \frac{0,004}{0} = \infty, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

На экране с внутренней стороны конструкции стены по глухой части экрана в случае отсутствия или малого движения воздуха будет образовываться конденсат. Количественно в первом приближении это можно проиллюстрировать табл. 4, где показано влагонакопление в годовом цикле стены, с экраном, имеющим коэффициент паропрооницаемости по глади $\mu = 0,008 \text{ мг/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ (получено в натуральных условиях [15]).

Из табл. 4 видно – за годовой цикл во всех месяцах упругость водяного пара e_t больше максимальной упругости водяного пара E_t , а потому происходит постоянное влагонакопление в прослойке у экрана, в отдалении от горизонтальных швов при отсутствии движения воздуха в прослойке. Поскольку в районе горизонтальных швов распределение влаги иное, как и при движении воздуха, далее в расчетах учитываются эти обстоятельства.

Следующим этапом расчета является учет стыковых швов-зазоров в соответствии со специально разработанной методикой влажностного расчета для вентилируемых фасадов [14] (в нашем случае кассетные панели экрана $1,2 \times 0,6 \text{ м}$).

Условное сопротивление паропрооницанию зазоров в горизонтальных приточных отверстиях экранов по формуле (26):

$$R_{vp} = \frac{0,004}{(6,5/4,6)} = 0,00028, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм рт. ст/г} (0,000037 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг})$$

где: 0,004 м – толщина экрана.

Следующим этапом расчетов является учет воздухозаборных и воздуховыводящих отверстий приведенной площадью $S = 0,03 \text{ м}^2$ на п.м экрана, а на 18 м высоты 6-ти этажного жилого здания – $0,00166 \text{ м}^2$.

Распределение влажности в кирпичной стене толщиной $\delta = 0,51$ м, с утеплением минватой и панелью «Полиалпан», воздушной прослойкой (по глади $\mu = 0,008$ мг/м²·ч·Па, 0,001 г/м²·ч мм рт. ст.)

Размерность	Индексы	МЕСЯЦЫ											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
°С	t_{ext}	-10,2	-9,6	-4,7	4	11,6	15,8	18,1	16,2	10,6	4,2	-2,2	-7,6
°С	t_{int}	20	20	20	20	11,6	15,8	18,1	16,2	10,6	20	20	20
°С	Δt	30,2	29,6	24,7	16	0	0	0	0	0	15,8	22,2	27,6
°С	τ_n	-9,9	-9,3	-4,4	4,2						4,4	-2,0	-7,3
мм рт. ст.	E_τ	1,96	2,07	3,17	6,19	10,24	13,46	15,58	13,81	9,59	6,27	3,88	2,47
мм рт. ст.	e_{ext}	1,604	1,62	2,41	4,026	5,939	7,941	9,615	9,391	7,001	4,828	3,132	2,0485
мм рт. ст.	e_{int}^{55}	9,647	9,647	9,647	9,647	5,939	7,941	9,615	9,391	7,001	9,647	9,647	9,647
мм рт. ст.	Δe	8,043	8,027	7,237	5,671	-	-	-	-	-	4,819	6,545	7,598
мм рт. ст.	e_τ	4,54	4,56	5,06	6,06						6,59	5,53	4,83
Часы		744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
г/м ² ·мес	$\Delta P_{вн.сл.}$	1311,8	1167,9	1105,4	570,7	-836,4					576,3	952,4	1224,8
г/м ² ·мес	$P_{нар.сл.}$	105,4	120,3	225	619,9	1450,8					426,9	214,3	124,8
г/м ² ·мес	ΔP	1206,5	1047,6	880,4	-49,0	-					149,4	738,2	1100,0
г/м ² ·мес	$\Sigma \Delta P$	3194,04	241,7	5122,9	5073,1	2285,8					149,4	887,6	1987,6
					Кон – ден – сат								

Сопротивление паропроницанию по глади считается бесконечно большой величиной тогда формула (28) примет вид:

$$R_{vp} = \frac{1}{\frac{0,00166}{0,00028}} = 0,168, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм рт. ст./г} \text{ (} 0,0225 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг)}$$

где: 0,00166 - приведенная площадь приточных отверстий, м².

Расчетное сопротивление паропроницанию части ограждающей конструкции R_{vp} , расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации: $R_{vp} = 0,0225 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$ ($0,168 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм рт. ст./г}$).

Нормируемое сопротивление паропроницанию R_{vp1}^{req} , м²·ч·Па/мг из условия недопустимости накопления влаги за год эксплуатации СНиП 23-02[4]:

$$R_{vp1}^{req} = \frac{(1135 - 1040) \cdot 0,0225}{1040 - 973} = 0,032, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

Нормируемое сопротивление паропроницанию R_{vp2}^{req} , м²·ч·Па/мг из условия ограничения влаги в наружной стеновой панели за период с отрицательными температурами наружного воздуха:

$$R_{vp2}^{req} = \frac{0,0024 \cdot 151(1135 - 356)}{80 \cdot 0,16 \cdot 3 + 483} = 0,54, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (356 - 326) \cdot 151}{0,0225} = 483$$

Поскольку R_{vp1}^{req} и $R_{vp2}^{req} < R_{vp} = 6,533 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$, влажностный режим в зоне швов системы для г. Н Новгорода удовлетворяет требованиям норм строительной теплотехники при расчете по СНиП 23-02 [4] для бетонной стены.

4.4. Определение скорости движения воздуха и упругости водяного пара на выходе из прослойки

Определяется скорость движения воздуха в прослойке при температуре наружного воздуха минус $-31 \text{ }^\circ\text{C}$. Расчет проводится по формулам (15 ÷ 16) при расстоянии между приточными и вытяжными отверстиями $h = 18 \text{ м}$.

Температура входящего в прослойку воздуха по формуле (18):

$$\tau_o = -31 \cdot 0,95 = -29,45, \text{ }^\circ\text{C}$$

Определяем расход воздуха в прослойке по формуле (17): при толщине прослойки $0,06 \text{ м}$ в соответствии с ТСН 31-301-97 [12] по формуле (15):

$$V_{np} = \sqrt{\frac{0,08(-29,45 + 31)18}{9,2}} = 0,49, \text{ м/с}$$

$$V_{np} = 0,49 - 0,49 \cdot 0,07 = 0,46, \text{ м/с}$$

Расход воздуха в прослойке составит

$$W = 0,46 \cdot 3600 \cdot 0,06 \cdot 1,45 = 144, \text{ кг/п.м}\cdot\text{ч}$$

где $0,07$ - коэффициент, учитывающий трение.

Примечание:

В действительности средняя температура воздуха в прослойке будет выше, а скорость и расход воздуха больше, что идет в запас. Данная скорость и расход воздуха характерны в районе приточных и вытяжных отверстий.

Упругость водяного пара на выходе из прослойки e_y при начальной упругости, соответствующей температуре наиболее холодной пятидневке $t_{ext} = -31^\circ\text{C}$, $e_o = e_{ext} \cdot 0,95 = 34 \cdot 0,95 = 32,3 \text{ Па}$

$$e_y = \frac{1685 + (32,3 \cdot 44,593 - 1685)e^{\frac{44,593 \cdot 18}{144}}}{44,593} = 37,77, \text{ Па}$$

$$\text{где: } M_{int} = \frac{1}{6,533} = 0,153; \quad M_{ext} = \frac{1}{0,0225} = 44,44, \text{ мг/ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$$

$$M_{int} + M_{ext} = 44,593, \text{ мг/ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$$

$$M_{int} \cdot e_{int} + M_{ext} \cdot e_{ext} = 0,153 \cdot 1135 + 44,44 \cdot 34 = 1685, \text{ мг/ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$$

e_y меньше максимальной упругости водяного пара E , равной $39,1 \text{ Па}$, следовательно, принятые параметры конструкции удовлетворительные.

Далее выполнен расчет влажностного режима наружной кирпичной стены с экраном, имеющей несколько худшие влажностные характеристики с точки зрения влагонакопления у экрана за счет большей паропроницаемости, кирпичной стены по сравнению с бетонной (рис. 4.2.1).

Без учета горизонтальных швов, т.е. по глухой части экрана при отсутствии движения воздуха будет образовываться конденсат, см. выше.

При учете горизонтальных швов расчет влажностного режима кирпичной стены, утепленной снаружи минеральной ватой, показывает следующее.

Расчетное сопротивление паропрооницанию стены до зоны возможной конденсации:

$$R_{vp} = \frac{0,020}{0,098} + \frac{0,51}{0,11} + \frac{0,16}{0,3} = 5,37, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

Расчетное сопротивление паропрооницанию части наружной стены, расположенной между ее наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации при учете горизонтальных швов равно:

$$R_{vp} = 0,0225, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг} \text{ (см. выше)}$$

Требуемое сопротивление паропрооницанию, R_{vp1}^{req} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$ из условия недопустимости накопления влаги за год эксплуатации:

$$R_{vp1}^{req} = \frac{(1135 - 1005) \cdot 0,0225}{1005 - 973} = 0,091, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

Требуемое сопротивление паропрооницанию R_{vp2}^{req} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$ из условия ограничения влаги в стене за период с отрицательными температурами воздуха:

$$R_{vp2}^{req} = \frac{0,0024 \cdot 151(1135 - 351)}{80 \cdot 0,16 \cdot 3 + 403} = 0,64, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (351 - 326) \cdot 151}{0,0225} = 403$$

Поскольку R_{vp1}^{req} и $R_{vp2}^{req} < R_{vp} = 5,37 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$, влажностный режим в зоне швов системы для г. Н. Новгорода удовлетворяет требованиям СНиП 23-02 [4] для кирпичной стены.

При невыполнении этих условий рекомендуется выполнение горизонтальных швов со сквозными щелями для поступления и вывода воздуха и проводится соответствующий пересчет.

5. Условные обозначения

- D_d – градусо-сутки отопительного периода, $^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$.
 t_{int} – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, $^{\circ}\text{C}$
 t_{ht} – средняя температура наружного воздуха отопительного периода, $^{\circ}\text{C}$
 z_{ht} – продолжительность отопительного периода, сут.
 R_o^{req} – требуемое приведенное сопротивление теплопередаче стен, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$
 R – термическое сопротивление однородного слоя многослойной ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$
 δ – толщина слоя, м
 λ – коэффициент теплопроводности материала слоя, $\text{Вт}/\text{м}\cdot^{\circ}\text{C}$
 R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$
 R_o – сопротивление теплопередаче однородной однослойной или многослойной ограждающей конструкции с однородными слоями или ограждающей конструкции в удалении от теплотехнических неоднородностей не менее чем на две толщины ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$
 α_{int} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$
 α_{ext} – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$
 r – коэффициент теплотехнической однородности
 R_0^r – приведенное сопротивление теплопередаче всей неоднородной ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$
 A_i – площадь i -го участка характерной части ограждающей конструкции, м^2
 A – общая площадь конструкции, равная сумме площадей отдельных участков, м^2
 m – число участков ограждающей конструкции с различным приведенным сопротивлением теплопередаче.
 e_{int}, e_{ext} – упругость водяного пара внутреннего и наружного воздуха, Па;
 e_r – упругость водяного пара в рассматриваемом сечении, Па;
 $R_{вн}$ – сопротивление паропроницанию от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации (с учетом пограничного слоя), $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$;
 $\Sigma R_{n,cl}$ – сумма сопротивлений паропроницанию слоев до рассматриваемого сечения, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$;
 $R_{он}$ – сопротивление паропроницанию всей стены, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$.
 V_{np} – скорость воздуха в прослойке, м/с
 V_n – скорость ветра, м/с
 κ_1, κ_2 – аэродинамические коэффициенты на входе в прослойку и выходе из нее
 H – разности высот от входа воздуха в прослойку до ее выхода из нее, м
 t_{cp}, t_{ext} – средняя температура воздуха в прослойке и температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$
 $\Sigma \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений (определяется сложением аэродинамических сопротивлений).
 $\gamma_{ext}, \gamma_{np}$ – плотность наружного воздуха и в воздуха прослойке, $\text{кг}/\text{м}^3$
 τ_o – температура входящего в прослойку воздуха по формуле, $^{\circ}\text{C}$
 B_w – безразмерный критерий, характеризующий изменение теплозащитных качеств стыка при фильтрации воздуха
 l_n – расстояние от входа в воздухозаборную щель до искомой точки, м
 $R_o^r y$ – приведенное сопротивление теплопередаче конструкции в сечении по воздухозаборной щели, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$
 λ_y – условная теплопроводность, $\text{Вт}/\text{м}\cdot^{\circ}\text{C}$;
 B_o – критерий, характеризующий теплозащитные качества части стыка от внутренней термической границы конструкции до искомой точки

h – высота воздухозаборной щели, м

R_{ov} – приведенное сопротивление теплопередаче конструкции в сечении по воздухозаборной щели, считая от искомой точки до внутренней термической границы конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$

t_{np} – температура воздуха по длине прослойки, °C

κ_{int} и κ_{ext} – коэффициенты теплопередачи внутреннего и наружного частей стены до середины прослойки, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$

h_y – расстояние между щелями, служащими для поступления (или вытяжки) воздуха, м

W – расход воздуха в прослойке, $\text{кг}/\text{п.м} \cdot \text{ч}$

C – удельная теплоемкость воздуха, $\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{°C}$

α_l – коэффициент лучистого теплообмена, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$

M_{int} и M_{ext} – коэффициенты массопередачи, $\text{мг}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$

$R_{вн}$ и $R_{нн}$ – сумма сопротивлений паропроницанию от внутренней поверхности до воздушной прослойки и от воздушной прослойки до наружной поверхности, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$

e_o – упругость водяного пара воздуха, входящего в прослойку, Па

t_{np} – температура воздуха по длине прослойки, °C .

$\Sigma \zeta_{ui}$ – местные сопротивления проходу воздуха

δ_3 – толщина экрана, м

μ_3 – коэффициент паропроницаемости панели, $\text{мг}/\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{мм рт. ст}$

R_{vp} – условное сопротивление паропроницанию в стыковых щелях, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$

R'_{vp} – сопротивление паропроницанию панелей по глади, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$

R_{vp}^{np} – приведенное условное сопротивление паропроницанию панелей с учетом щелей, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$

ΣF – суммарная расчетная площадь панели, м^2

F_{2l} – площадь панели без щелей, м^2 ;

F' – площадь щелей, через которые поступает воздух, м^2

6. Перечень нормативных документов и литературы

1. СНиП 2.08.01-89* и МГСН 3.01-01 Жилые здания.
2. СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия.
3. СНиП 23-01-99 Строительная климатология.
4. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий.
5. СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений.
6. МГСН 2.01.99 Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению.
7. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий.
8. ГОСТ 17177-94 Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний.
9. ГОСТ 22233-93 Профили пресованные из алюминиевых сплавов для ограждающих конструкций. Общие технические условия
10. ГОСТ 27180-86 Керамические плитки. Методы испытаний.
11. ГОСТ 7025-78 Материалы стеновые и облицовочные. Методы определения водопоглощения и морозостойкости.
12. ТСН 23-301-97 Строительная климатология для пунктов Нижегородской области.
13. Рекомендации по проектированию и применению для строительства и реконструкции зданий в г. Москве фасадной системы с вентилируемым воздушным зазором «U-кон». Правительство Москвы. Москомархитектура, Москва, 2003 г.
14. Рекомендации по проектированию и применению для строительства и реконструкции зданий в г. Москве фасадной системы с вентилируемым воздушным зазором «Краспан». Правительство Москвы. Москомархитектура, Москва, 2002 г.
15. Фасадная система ПОЛИАЛПАН Рекомендации по проектированию и применению для строительства и реконструкции зданий.ОАО ЦНИИЭП ЖИЛИЩА., Москва, 2003 г.

Андрей Николаевич Машенков
Елизавета Валентиновна Чебурканова
Владимир Алексеевич Ершов
Алексей Владимирович Щедров

Тепловлажностный расчет фасадных систем с воздушным зазором

Методические указания к курсовой работе по курсу «Строительная теплофизика» для студентов дневного и заочного факультетов специальностей «Теплогазоснабжение и вентиляция» и «Промышленная теплоэнергетика».

Подписано к печати 17.04.2006 г. Формат 60×90 1/16. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,9. Уч. изд. л. 1,8.

Тираж 500 экз. Заказ № 395.