

Д.В. Кузьменко

**Теплотехнический расчет нового типа ограждающей
конструкции на базе ЛСТК.**

Санкт-Петербург
2008г

Оглавление	
Введение	3
1. Защитные свойства наружных ограждений	5
2. Теплотехнический расчет термopанели.	6
2.1. Определение требуемого сопротивления теплопередачи	6
2.1.1. Параметры внутренней среды	6
2.1.2. Минимально допустимое требуемое сопротивление теплопередаче ограждения 7	
2.1.3. Требуемое сопротивление исходя из условий энергосбережения	8
2.1.4. Особенности теплотехнического расчета ограждающей конструкции на основе термопрофиля.....	8
2.2. Оценка теплоустойчивости термopанели.	21
2.2.1. Требования по теплоустойчивости в холодный период года	21
2.2.2. Особенности расчета теплоустойчивости в холодный период года	21
2.2.3. Определение амплитуды колебаний температуры помещения.....	23
2.2.4. Расчет теплоустойчивости в холодный период года.....	23
2.3. Оценка воздухопроницаемости термopанели.	36
2.3.1. Особенности расчета воздухопроницаемости термopанели.....	36
2.4. Оценка паропроницаемости термopанели.....	39
2.4.1. Особенности расчета сопротивления паропроницанию ограждающих конструкций. 39	
2.4.2. Сопротивление паропроницанию термopанели.	42
Литература	60

Введение

За последние годы в нашей стране существенно изменились архитектурно-конструктивные решения и технология строительства зданий. В связи с техническим прогрессом, появились новые технологии строительства и спрос на новые виды продукции. Но проектные и строительные организации недостаточно информированы о принципиально новых строительных технологиях и материалах. А есть разработки, позволяющие значительно снизить материальные, трудовые и стоимостные затраты в массовом строительстве при высоких качественных и эксплуатационных показателях.

В крупных городах России давно стало привычным каркасно-монолитное жилье. К преимуществам каркасно-монолитного строительства относится как гибкость общих архитектурно-планировочных решений, так и возможность свободной планировки помещений. Каркасно-монолитное жилье может быть любой категории, от экономичной до элитной. При этом чрезвычайно важно, какой вид имеет ограждающая система, которая определяет ее экономическую и техническую эффективность.

В каркасно-монолитном здании стеновое заполнение из газобетона или пустотелого кирпича не входит в состав несущей конструкции, поэтому для его устройства могут быть использованы легкие материалы низкой плотности, имеющие высокие теплотехнические свойства. Их использование позволяет не только облегчить ограждающую конструкцию, но и уменьшить расход бетона на фундамент, увеличить жилую площадь, повысить энергоэффективность здания. Этой конструкцией может быть термопанель.

Термопанель - это панели наружных стен с каркасом из термопрофилей, предназначенные для строительства малых и многоэтажных зданий (рис. 1.1). Термопанели воплощают принципы так называемого поэлементного строительства, согласно которым максимально возможное количество частей здания изготавливается на заводе, в сухой и удобной среде. На стройплощадке, под воздействием неустойчивых погодных условий происходит только быстрый монтаж здания.

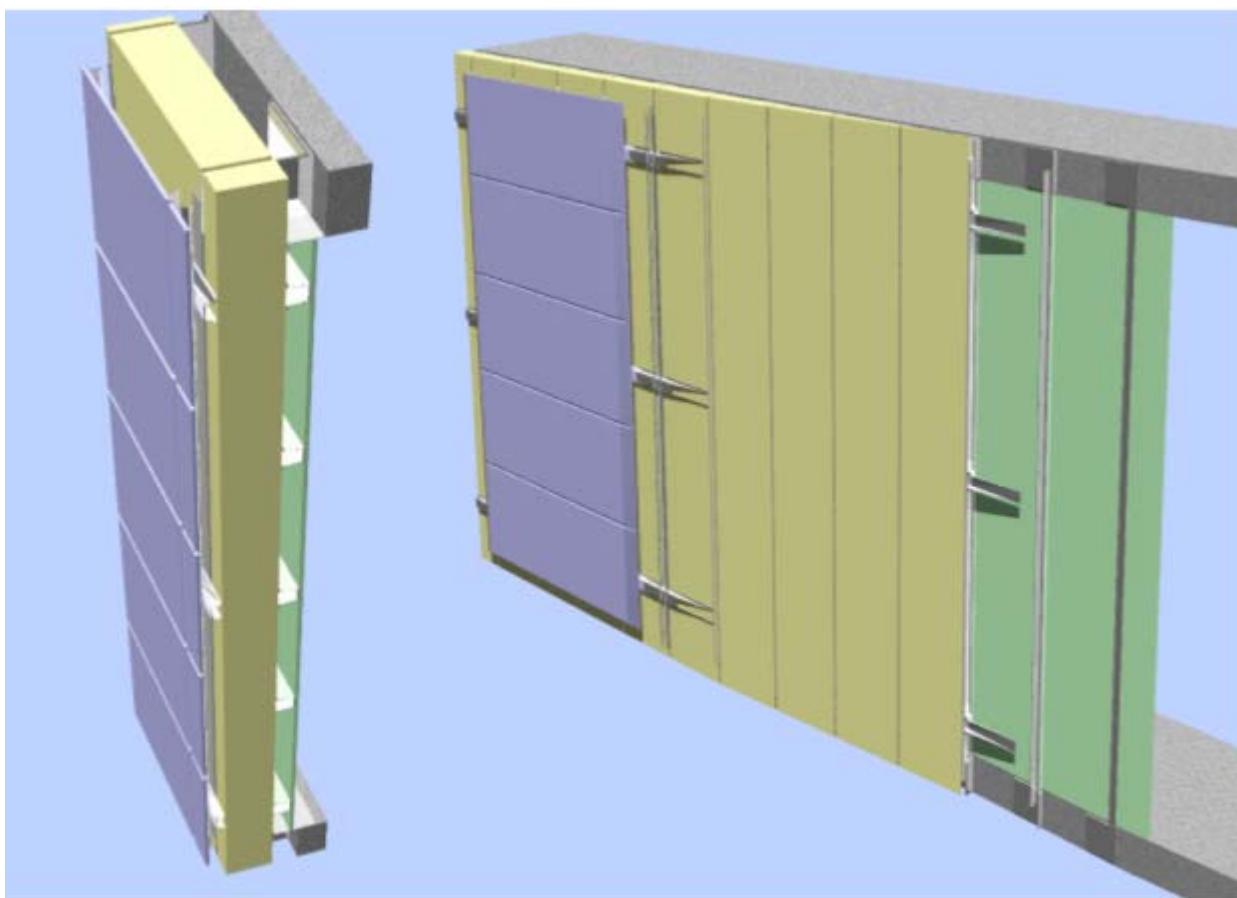
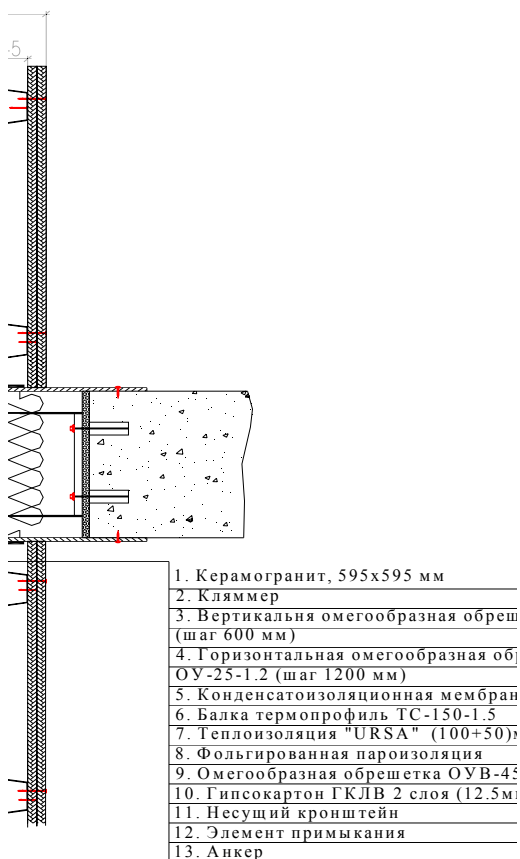


Рис. 1.1. Термопанель.

Способ крепления термопанелей к несущему каркасу зависит от конфигурации каркаса. Часто панель опирают на край плиты перекрытия и его положение по высоте выверяют при помощи клиньев. В горизонтальном направлении элемент фиксируют при помощи стальных пластин и анкеров. В вертикальном положении можно, при относительно не большом количестве этажей, панель опереть друг на друга. В качестве варианта крепления может быть взвешено оперение на стальные угольники. Угольники закрепляют анкерами с краю перегородки или бетонной стене и воспринимают как вертикальную, так и горизонтальную реакцию панели.

На рисунке 1.2 представлена конструкция термопанели.



Вариант а

1. Керамогранит, 595x595 мм
2. Кляммер
3. Вертикальная омегаобразная обрешетка ОУ-25-1.2 (шаг 600 мм)
4. Горизонтальная омегаобразная обрешетка ОУ-25-1.2 (шаг 1200 мм)
5. Конденсатоизоляционная мембрана Monarperm
6. Балка термопрофиль ТС-150-1.5
7. Теплоизоляция "URSA" (100+50)мм
8. Фольгированная пароизоляция
9. Омегаобразная обрешетка ОУВ-45-0.6 (шаг 600 мм)
10. Гипсокартон ГКЛВ 2 слоя (12.5мм)
11. Несущий кронштейн
12. Элемент примыкания
13. Анкер
14. Межэтажное перекрытие

Вариант б

1. Керамогранит, 595x595 мм
2. Кляммер
3. Вертикальная омегаобразная обрешетка ОУ-25-1.2 (шаг 600 мм)
4. Горизонтальная омегаобразная обрешетка ОУ-25-1.2 (шаг 1200 мм)
5. Конденсатоизоляционная мембрана Monarperm
6. Балка термопрофиль ТС-150-1.5
7. Теплоизоляция "URSA" (100+50)мм
8. Фольгированная пароизоляция
9. Дополнительная теплоизоляция "URSA" 50мм
10. Омегаобразная обрешетка ОУВ-45-0.6 (шаг 600 мм)
11. Гипсокартон ГКЛВ 2 слоя (12.5мм)
12. Несущий кронштейн
13. Элемент примыкания
14. Анкер
15. Межэтажное перекрытие

Рис. 1.2. Конструкция термопанели.

1. Защитные свойства наружных ограждений

Ограждающие конструкции должны обладать необходимой прочностью, жесткостью, устойчивостью, долговечностью, удовлетворять общим архитектурным, эксплуатационным, санитарно-гигиеническим требованиям соответствующих СНиП и СанПиН. В сборных конструкциях особое внимание должно быть обращено на прочность, жесткость, долговечность и герметичность соединений.

При применении многослойных конструкций взаимное расположение отдельных ее слоев должно способствовать высыханию конструкций и исключать возможность накопления влаги в ограждении в процессе эксплуатации.

Требуемую степень долговечности ограждающих конструкций следует обеспечить применением материалов имеющих надлежащую стойкость (морозостойкость, влагостойкость, биостойкость, стойкость против коррозии, высокой температуры, циклических температурных колебаний и других разрушающих воздействий окружающей среды), а также соответствующими конструктивными решениями, предусматривающими в случае необходимости специальную защиту элементов конструкции.

При проектировании зданий для повышения пределов огнестойкости и снижения пожарной опасности внутренней и наружной поверхностей стен следует предусматривать устройство облицовки из негорючих материалов или штукатурки, а для защиты от воздействия влаги и атмосферных осадков – дополнительно окраску водоустойчивыми составами, выбираемыми в зависимости от материала стен и условий эксплуатации.

С теплотехнической точки зрения различают три вида наружных стен по числу основных слоев: однослойные, двухслойные и трехслойные.

Однослойные стены выполняют из конструкционно-теплоизоляционных материалов и изделий, совмещающих несущие и теплозащитные функции.

В трехслойных ограждениях с защитными слоями на точечных (гибких, шпоночных) связях рекомендуется применять утеплитель из минеральной ваты, стекловаты или пенополистирола с толщиной, устанавливаемой по расчету с учетом теплопроводных включений от связей.

В двухслойных стенах предпочтительно расположение утеплителя снаружи. Используются два варианта наружного утеплителя: системы с наружным покровным слоем без зазора и системы с воздушным зазором между наружным облицовочным слоем и утеплителем.

Ограждения здания должны обладать требуемыми теплозащитными свойствами и быть в достаточной степени воздухо- и влагонепроницаемыми.

Теплозащитные свойства наружных ограждений определяются двумя показателями: величиной сопротивления теплопередаче R_0 и теплоустойчивостью, которую оценивают по величине характеристики тепловой инерции ограждения D . Величина R_0 определяет сопротивление ограждения передачи тепла в стационарных условиях, а теплоустойчивость характеризует сопротивляемость ограждения передаче изменяющихся во времени периодических тепловых воздействий.

В зимних условиях теплозащитные свойства ограждений принято характеризовать в основном величиной R_0 , а в летних – также их теплоустойчивостью. Это объясняется тем, что для зимы характерны устойчивые температуры вне здания и постоянные внутренние температуры, которые обеспечивает система отопления. Летом характерны периодические суточные изменения наружной температуры и солнечной радиации, внутри здания температура обычно не регулируется.

Наиболее важным является определение расчетного сопротивления теплопередаче R_0 основной части конструкции ограждения, с которого обычно и начинают теплотехнический расчет ограждений. Необходимым является условие, при котором R_0 должно быть равно или больше минимально допустимого по санитарно-гигиеническим соображениям (требуемого) сопротивления $R_{0\text{тр}}$ теплопередаче:

$$R_0 \geq R_{0\text{тр}} \quad (1.1)$$

Однако этого условия недостаточно, так как при определении R_0 должны учитываться также технико-экономические показатели. Если оказывается, что

экономически оптимальное сопротивление $R_{0\text{ опт}}$ теплопередачи ограждения больше $R_{0\text{ тр}}$, то расчетное сопротивление должно определяться по условию:

$$R_0 \approx R_{0\text{ опт}} \quad (1.2)$$

В этом случае сопротивление R_0 больше минимально допустимого и целесообразнее в экономическом отношении.

После определения R_0 ограждения необходимо проверить теплозащитные свойства элементов конструкции (стыки, углы, включения). Необходимым и достаточным условием этого расчета является отсутствие выпадения конденсата на внутренней поверхности конструкции.

Допустимая воздухопроницаемость конструкции определяется нормируемым сопротивлением $R_{н.тр}$ воздухопроницанию, расходом воздуха, дополнительными затратами тепла, понижением температуры поверхности конструкции инфильтрации.

Влагозащитные свойства ограждения должны исключать переувлажнение материалов атмосферной влагой и за счет диффузии водяных паров из помещения. Процессы передачи тепла, фильтрации и переноса влаги взаимосвязаны, и одно явление оказывает влияние на другое, поэтому определение сопротивлений тепло-, воздухо- и влагопередаче должно проводиться, как общий расчет защитных свойств наружных ограждений здания.

Весь комплекс вопросов по теплофизическим свойствам конструкций опирается на солидный фундамент знаний, который создали отечественные ученые - строительные физики Власов О.Е., Муромовым С.И., Фокин К.Ф., Семенов Л.А., Шкловер А.М., Мачинский В.Д., Васильев Б.Ф., Франчук А.У., Лыков А.В., Богословский В.Н., Дроздов В. А., Михеев, М.А., Брилинг Р.Е., Ушков Ф.В., Ильинский В.М., Осипов Г.Л., Хлевчуф, В.Р., Гагарин Г.В., Гиндоян А.Г., Могилат А.Т., Артыкпаев Е.Т., Аверьянов В.К., Табунщиков Ю.А., Иванов Г.С., Лицкевич В.К., Силаенков В.С., Беляев В.С., Бутовский И.Н., Матросов Ю.А., Ливчак В.И., Самарин О.Д., Селиванов Н.П., Пермьяков С.И., Савин В.К., Осадчий Г.Б. и др.

2. Теплотехнический расчет термопанели.

Наружные ограждающие конструкции с термопрофилями, расположенными непосредственно в их теплоизоляционных слоях являются неоднородными в теплотехническом отношении, что обуславливает необходимость расчета приведенных значений их сопротивления теплопередаче, с учетом влияния термопрофилей, являющихся «мостиками холода», на теплозащитные качества тиках конструкций. В связи с большим различием расчетных коэффициентов теплопроводности стали ($58 \text{ Вт}/(\text{м} \text{ } ^\circ\text{C})$) и используемых в этом случае эффективных утеплителей ($0,03 - 0,1 \text{ Вт}/(\text{м} \text{ } ^\circ\text{C})$) не обеспечиваются ограничения, установленные для использования сравнительно простой инженерной методики расчета приведенных значений термического сопротивления неоднородных ограждающих конструкций, предусмотренной п. 2.8 СНиП 23-02-2003 [2]. Поэтому теплотехнический расчет необходимо выполнять на основе:

- расчета температурных полей;
- приведенного теплового сопротивления;
- по результатам опытных исследований.

2.1. Определение требуемого сопротивления теплопередачи

При проектировании зданий и сооружений приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций R_0 следует принимать не менее требуемых значений $R_{0\text{ тр}}$, определяемых исходя из санитарно-гигиенических, комфортных условий и условий энергосбережения [2].

Определим требуемое приведенное сопротивление для условий Санкт-Петербурга.

2.1.1. Параметры внутренней среды

Оптимальные температура и допустимая относительная влажность воздуха внутри здания для холодного времени года в соответствии со СНиП 23-02-2003 [2]:

Таблица 2.1

№п/п	Тип здания	Температура воздуха внутри здания t_{int} , °С	Относительная влажность внутри здания φ_{int} , %, не более
1	Жилые	20	50

Допустимые температура и относительная влажность воздуха внутри здания для теплого периода года в соответствии со СНиП 23-02-2003 [2]:

Таблица 2.2

№п/п	Тип здания	Температура воздуха внутри здания t_{int} , °С	Относительная влажность внутри здания φ_{int} , %, не более
1	Жилые	24	60

2.1.2. Минимально допустимое требуемое сопротивление теплопередаче ограждения

Санитарно-гигиенические требования ограничивают понижение температуры τ_b на внутренней поверхности ограждений допустимой температурой τ_e^{don} . Температура τ_e^{don} должна быть такой, чтобы человек, находясь около ограждения, не испытывал интенсивного радиационного охлаждения. Кроме того, на ограждениях недопустима конденсация, поэтому τ_e^{don} должна быть выше температуры точки росы $t_{m.p.}$ воздуха в помещении.

Требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, отвечающих санитарно-гигиеническим и комфортным условиям, определим по формуле:

$$R_{o\,mp} = \frac{(t_{int} - t_{ext})n}{\Delta t^H \alpha_e} \quad (2.1)$$

где n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху принимаемый по таблице 3 СНиП 23-02-2003 [2];

t_{int} – расчетная температура внутреннего воздуха, °С, принимаемая согласно ГОСТ 12.1.005-88 и нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений;

t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха, °С, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по СНиП 2.01.01-82;

Δt^H – нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции принимаемый по таблице 2 СНиП 23-02-2003 [2];

α_e – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, принимаемый по таблице 4 СНиП 23-02-2003 [2].

В этой формуле $\Delta t^H \alpha_e$ можно заменить равным ему потоком тепла через ограждение [12]:

$$q^H = \Delta t^H \alpha_e \quad (2.2)$$

И записать $R_{o\,mp}$ в виде:

$$R_{o\ mp} = \frac{(t_{int} - t_{ext})n}{q''} \quad (2.3)$$

Значения q'' приведены в таблице VI.3 [12].

Для условий города Санкт-Петербург требуемое сопротивление теплопередаче равняется:

$$R_{o\ mp} = \frac{(20 - (-26)) \cdot 1}{52,3} = 0,88 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$$

2.1.3. Требуемое сопротивление исходя из условий энергосбережения

Градусо-сутки отопительного периода определим по формуле [2, 1а] СНиП:

$$D_d = (t_{int} - t_{ht})z_{ht} \quad (2.4)$$

где t_{ht}, z_{ht} – средняя температура, $-1,8^\circ\text{C}$, и продолжительность, 220сут, периода со среднесуточной температурой воздуха ниже или равной 8°C по [1].

$$D_d = (20 - (-1,8)) \cdot 220 = 4796$$

По [2, таб.16*] требуемое сопротивление теплопередаче $R^{тp}_o = 3,08 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ для стены.

2.1.4. Особенности теплотехнического расчета ограждающей конструкции на основе термопрофиля.

Сопротивление теплопередаче R_o , $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$, ограждающей конструкции можно определить по формуле [2, 4]:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_s} + R_k + \frac{1}{\alpha_n} \quad (2.5)$$

где α_s – коэффициент теплопередачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, по [2, табл4*]

α_n – коэффициент теплопередачи (для зимних условий) наружной поверхности ограждающей конструкции $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$, по [2, табл.6*]

R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$

Термическое сопротивление определяем по [2, 3]:

$$R_k = \frac{\delta}{\lambda} \quad (2.5)$$

где δ – толщина слоя, м;

λ – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, $\text{Вт}/(\text{м} \text{ } ^\circ\text{C})$.

Термическое сопротивление ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями определяем как сумму термических сопротивлений отдельных слоев [2]:

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_{en} \quad (2.6)$$

где R_1, R_2 – термическое сопротивление отдельных слоев ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$,

$R_{вп}$ – термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$

Конструкция термопанели в толще теплоизоляционного слоя имеет теплопроводные включения, т.е. по площади наружной стены практически нет участков, в пределах которых передачу тепла можно было бы считать проходящей по одномерной схеме. За счет таких конструктивных особенностей потери тепла по всей площади ограждения оказываются часто большими, чем теплотери, рассчитанные в предположении одномерности температурного поля.

2.1.4.1. Методика расчета на основе приведенного теплового сопротивления

Для многослойных панелей, состоящих из неоднородных слоев с эффективной теплоизоляцией, полностью или частично пронизывающих толщину теплоизоляции металлическими элементами (профиля, стержни, болты), приведенное термическое сопротивление определяют следующим образом:

- конструкция условно расчленяется на однородные элементы. Затем конструкция представляется в виде цепи из тепловых сопротивлений, образующих последовательно-параллельные участки, для которых рассчитывается приведенное тепловое сопротивление ρ^r , °С/Вт. Причем участки с параллельными ветвями цепи с тепловыми сопротивлениями ρ' и ρ'' рассчитываются по формуле:

$$\rho^r = (\rho' \rho'') / (\rho' + \rho'') \quad (2.7)$$

а участки с последовательными тепловыми сопротивлениями - суммированием их тепловых сопротивлений.

- Приведенное термическое сопротивление R_k^r , м²·°С/Вт, определяют по формуле:

$$R_k^r = \rho^r A, \quad (2.8)$$

где A - общая площадь конструкции, равная сумме площадей отдельных участков, м².

В таблице 2.3 – 2.4 представлены приведенные значения термического сопротивления неоднородных теплоизоляционных слоев, полученные на основе приведенного теплового сопротивления, расчетные теплотехнические характеристики теплоизоляции из материалов различной теплопроводности с термопрофилями всех типоразмеров сортамента ООО «Балтпрофиль» при различном расстоянии между ними.

Таблица 2.3. Приведенное термическое сопротивление изоляционного слоя толщиной 150 мм при шаге термопанели (L), мм. Длина термопрофиля 6 м.

Толщина теплоизоляции (высота стенки термопрофиля), $\delta_{тс}$, мм	Толщина стенки термопрофиля, мм	Расчетный коэф-т Теплопроводности утеплителя (λ), Вт/м °С	Приведенное термическое сопротивление ($R_{пр.к}$), м ² °С/Вт, теплоизоляционного слоя ($\delta_{тс}$) при шаге термопрофилей L, мм			
			600	900	1200	
1	2	3	4	5	6	
150	0,8	0,03	4,21	4,45	4,57	
		0,04	3,29	3,43	3,50	
		0,041	3,22	3,35	3,42	
		0,042	3,15	3,28	3,35	
		0,045	2,96	3,08	3,14	
		0,047	2,85	2,96	3,01	
		0,05	2,70	2,79	2,84	
		0,06	2,29	2,35	2,39	
		0,07	1,98	2,03	2,06	
		0,08	1,75	1,79	1,81	
	0,09	1,57	1,60	1,62		
	0,1	1,42	1,45	1,46		
			0,03	4,05	4,33	4,48
			0,04	3,19	3,36	3,45
			0,041	3,12	3,28	3,37
			0,042	3,06	3,21	3,30

	1	0,045	2,88	3,02	3,09
		0,047	2,78	2,90	2,97
		0,05	2,63	2,74	2,80
		0,06	2,24	2,32	2,36
		0,07	1,95	2,01	2,04
		0,08	1,72	1,77	1,80
		0,09	1,55	1,58	1,60
		0,1	1,40	1,43	1,45
	1,2	0,03	3,90	4,21	4,38
		0,04	3,10	3,29	3,39
		0,041	3,04	3,22	3,32
		0,042	2,97	3,15	3,25
		0,045	2,81	2,96	3,05
		0,047	2,71	2,85	2,93
		0,05	2,57	2,70	2,77
		0,06	2,19	2,29	2,34
		0,07	1,91	1,98	2,02
		0,08	1,70	1,75	1,78
		0,09	1,52	1,57	1,59
		0,1	1,38	1,42	1,44
	1,5	0,03	3,70	4,05	4,25
		0,04	2,97	3,19	3,31
		0,041	2,91	3,12	3,24
		0,042	2,86	3,06	3,17
		0,045	2,70	2,88	2,98
		0,047	2,61	2,78	2,87
		0,05	2,48	2,63	2,71
		0,06	2,13	2,24	2,30
		0,07	1,86	1,95	1,99
		0,08	1,66	1,72	1,76
		0,09	1,49	1,55	1,57
		0,1	1,36	1,40	1,42
	2	0,03	3,41	3,81	4,05
		0,04	2,78	3,04	3,19
		0,041	2,73	2,98	3,12
		0,042	2,68	2,92	3,06
		0,045	2,54	2,76	2,88
		0,047	2,46	2,66	2,78
		0,05	2,34	2,53	2,63
		0,06	2,03	2,16	2,24
		0,07	1,78	1,89	1,95
0,08		1,60	1,68	1,72	
0,09		1,44	1,51	1,55	
0,1		1,32	1,37	1,40	
	0,03	4,30	4,51	4,62	
	0,04	3,34	3,47	3,53	

	0,7	0,041	3,27	3,39	3,45
		0,042	3,20	3,31	3,37
		0,045	3,01	3,11	3,16
		0,047	2,89	2,98	3,03
		0,05	2,73	2,82	2,86
		0,06	2,31	2,37	2,40
		0,07	2,00	2,05	2,07
		0,08	1,77	1,80	1,82
		0,09	1,58	1,61	1,62
		0,1	1,43	1,45	1,46

Таблица 2.4. Приведенное термическое сопротивление изоляционного слоя толщиной 175 мм при шаге термопанели (L), мм. Длина термопрофиля 6 м.

Толщина теплоизоляции (высота стенки термопрофиля), $\delta_{тс}$, мм	Толщина стенки термопрофиля, мм	Расчетный коэф-т теплопроводности утеплителя (λ), Вт/м 0С	Приведенное термическое сопротивление ($R_{пр.к}$), м2 0С/Вт, теплоизоляционного слоя ($\delta_{тс}$) при шаге термопрофилей L, мм			
			600	900	1200	
1	2	3	4	5	6	
175	0,8	0,03	4,80	5,10	5,27	
		0,04	3,77	3,95	4,05	
		0,041	3,69	3,86	3,96	
		0,042	3,61	3,78	3,87	
		0,045	3,40	3,55	3,63	
		0,047	3,27	3,41	3,48	
		0,05	3,10	3,22	3,29	
		0,06	2,63	2,72	2,77	
		0,07	2,29	2,35	2,39	
		0,08	2,02	2,08	2,10	
		0,09	1,81	1,86	1,88	
		0,1	1,64	1,68	1,70	
	1		0,03	4,59	4,94	5,14
			0,04	3,64	3,86	3,97
			0,041	3,56	3,77	3,88
			0,042	3,49	3,69	3,80
			0,045	3,30	3,47	3,57
			0,047	3,18	3,34	3,43
			0,05	3,01	3,16	3,24
			0,06	2,57	2,68	2,73
			0,07	2,24	2,32	2,36
			0,08	1,99	2,05	2,08
			0,09	1,78	1,83	1,86
			0,1	1,62	1,66	1,68
			0,03	4,41	4,80	5,02
			0,04	3,52	3,77	3,90

	1,2	0,041	3,45	3,69	3,82
		0,042	3,38	3,61	3,73
		0,045	3,20	3,40	3,51
		0,047	3,09	3,27	3,37
		0,05	2,93	3,10	3,19
		0,06	2,51	2,63	2,70
		0,07	2,20	2,29	2,34
		0,08	1,95	2,02	2,06
		0,09	1,76	1,81	1,84
		0,1	1,60	1,64	1,67
		1,5	0,03	4,15	4,59
	0,04		3,36	3,64	3,80
	0,041		3,29	3,56	3,72
	0,042		3,23	3,49	3,64
	0,045		3,06	3,30	3,43
	0,047		2,96	3,18	3,30
	0,05		2,82	3,01	3,12
	0,06		2,43	2,57	2,65
	0,07		2,13	2,24	2,30
	0,08		1,90	1,99	2,03
	0,09		1,71	1,78	1,82
	0,1	1,56	1,62	1,65	
	2	0,03	3,79	4,29	4,59
		0,04	3,11	3,45	3,64
		0,041	3,06	3,38	3,56
		0,042	3,01	3,32	3,49
		0,045	2,86	3,14	3,30
		0,047	2,77	3,03	3,18
		0,05	2,64	2,88	3,01
		0,06	2,30	2,47	2,57
		0,07	2,03	2,17	2,24
		0,08	1,82	1,93	1,99
		0,09	1,65	1,74	1,78
	0,1	1,51	1,58	1,62	
	0,7	0,03	4,91	5,18	5,33
		0,04	3,83	4,00	4,09
		0,041	3,75	3,91	3,99
		0,042	3,67	3,82	3,90
		0,045	3,45	3,59	3,66
		0,047	3,32	3,45	3,51
0,05		3,14	3,25	3,31	
0,06		2,67	2,74	2,79	
0,07		2,31	2,37	2,40	
0,08		2,04	2,09	2,11	
0,09		1,83	1,87	1,89	
0,1	1,66	1,69	1,70		

В таблице 2.5 – 3.8 представлены полученные аналогическом образом расчетные значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих каркасно-обшивных стен с каркасом из термопрофилей высотой стенки 150 и 175 мм. Также при различном шаге термопрофилей и различных расчетных значениях теплопроводности используемых утеплителей.

Таблица 2.5. Термическое сопротивление термопанели 1 при шаге термопрофиля 600, 900,1200 мм высотой стенки термопрофиля 150 мм. Длина термопрофиля 6 м.

(Термопанель 1 состоит из: 2 слоя ГКЛ 12,5мм, воздушная прослойка 50мм, термопрофиль с эффективным утеплителем, вентилируемый воздушный зазор 50 мм, облицовка плиты керамогранитные)

Толщина теплоизоляции (высота стенки термопрофиля), мм	Толщина стенки термопрофиля, мм	Расчетный коэф-т Теплопроводности утеплителя (λ), Вт/м °С	Термическое сопротивление (R^0), м ² 0С/Вт, термопанели при шаге термопрофилей (В), мм			
			600	900	1200	
1	2	3	4	5	6	
150	0,8	0,03	4,67	4,91	5,04	
		0,04	3,75	3,89	3,97	
		0,041	3,68	3,82	3,89	
		0,042	3,61	3,74	3,81	
		0,045	3,43	3,54	3,60	
		0,047	3,31	3,42	3,47	
		0,05	3,16	3,25	3,30	
		0,06	2,75	2,82	2,85	
		0,07	2,45	2,50	2,52	
		0,08	2,22	2,25	2,27	
		0,09	2,03	2,06	2,08	
		0,1	1,88	1,91	1,92	
	1	1	0,03	4,52	4,79	4,94
			0,04	3,65	3,82	3,91
			0,041	3,59	3,75	3,83
			0,042	3,52	3,68	3,76
			0,045	3,35	3,48	3,56
			0,047	3,24	3,37	3,43
			0,05	3,09	3,21	3,27
			0,06	2,70	2,78	2,83
			0,07	2,41	2,47	2,50
			0,08	2,19	2,23	2,26
			0,09	2,01	2,05	2,07
			0,1	1,86	1,90	1,91
			0,03	4,37	4,67	4,85
			0,04	3,56	3,75	3,86
			0,041	3,50	3,68	3,78

	1,2	0,042	3,44	3,61	3,71
		0,045	3,27	3,43	3,51
		0,047	3,17	3,31	3,39
		0,05	3,03	3,16	3,23
		0,06	2,66	2,75	2,80
		0,07	2,38	2,45	2,48
		0,08	2,16	2,22	2,24
		0,09	1,99	2,03	2,06
		0,1	1,85	1,88	1,90
	1,5	0,03	4,16	4,52	4,72
		0,04	3,43	3,65	3,78
		0,041	3,37	3,59	3,71
		0,042	3,32	3,52	3,64
		0,045	3,16	3,35	3,45
		0,047	3,07	3,24	3,33
		0,05	2,94	3,09	3,18
		0,06	2,59	2,70	2,76
		0,07	2,33	2,41	2,46
		0,08	2,12	2,19	2,22
		0,09	1,96	2,01	2,04
	0,1	1,82	1,86	1,89	
	2	0,03	3,87	4,27	4,52
		0,04	3,24	3,50	3,65
		0,041	3,19	3,44	3,59
		0,042	3,14	3,38	3,52
		0,045	3,00	3,22	3,35
		0,047	2,92	3,12	3,24
		0,05	2,81	2,99	3,09
		0,06	2,49	2,63	2,70
		0,07	2,25	2,35	2,41
		0,08	2,06	2,14	2,19
		0,09	1,90	1,97	2,01
	0,1	1,78	1,83	1,86	
	0,7	0,03	4,76	4,97	5,08
		0,04	3,80	3,93	4,00
		0,041	3,73	3,85	3,91
0,042		3,66	3,78	3,84	
0,045		3,47	3,57	3,62	
0,047		3,35	3,45	3,50	
0,05		3,19	3,28	3,32	
0,06		2,77	2,83	2,86	
0,07		2,47	2,51	2,53	
0,08		2,23	2,26	2,28	
0,09		2,04	2,07	2,09	
0,1	1,89	1,92	1,93		

Таблица 2.6. Термическое сопротивление термопанели 1 при шаге термопрофиля 600, 900, 1200 мм высотой стенки термопрофиля 175 мм.

Длина термопанели 6м.

(Термопанель 1 состоит из: 2 слоя ГКЛ 12,5мм, воздушная прослойка 50мм, термопрофиль с эффективным утеплителем, вентилируемый воздушный зазор 50 мм, облицовка плиты керамогранитные)

Толщина теплоизоляции (высота стенки термопрофиля), мм	Толщина стенки термопрофиля, мм	Расчетный коэф-т теплопроводности утеплителя (λ), Вт/м 0С	Термическое сопротивление (R^0), м ² 0С/Вт, термопанели при шаге термопрофилей (В), мм			
			600	900	1200	
1	2	3	4	5	6	
175	0,8	0,03	5,26	5,56	5,73	
		0,04	4,23	4,41	4,51	
		0,041	4,15	4,33	4,42	
		0,042	4,07	4,24	4,33	
		0,045	3,86	4,01	4,09	
		0,047	3,74	3,87	3,95	
		0,05	3,56	3,69	3,75	
		0,06	3,10	3,18	3,23	
		0,07	2,75	2,82	2,85	
		0,08	2,49	2,54	2,57	
		0,09	2,28	2,32	2,34	
		0,1	2,11	2,14	2,16	
	1	1	0,03	5,06	5,41	5,60
			0,04	4,10	4,32	4,44
			0,041	4,03	4,24	4,35
			0,042	3,96	4,16	4,26
			0,045	3,76	3,94	4,03
			0,047	3,64	3,80	3,89
			0,05	3,48	3,62	3,70
			0,06	3,03	3,14	3,20
			0,07	2,70	2,78	2,83
			0,08	2,45	2,51	2,55
			0,09	2,25	2,30	2,32
			0,1	2,08	2,12	2,15
	1,2	1,2	0,03	4,87	5,26	5,48
			0,04	3,98	4,23	4,36
			0,041	3,91	4,15	4,28
			0,042	3,85	4,07	4,20
			0,045	3,66	3,86	3,97
			0,047	3,55	3,74	3,84
			0,05	3,39	3,56	3,65
			0,06	2,97	3,10	3,16
			0,07	2,66	2,75	2,80

		0,08	2,41	2,49	2,53	
		0,09	2,22	2,28	2,31	
		0,1	2,06	2,11	2,13	
	1,5	0,03	4,62	5,06	5,32	
		0,04	3,82	4,10	4,26	
		0,041	3,76	4,03	4,18	
		0,042	3,70	3,96	4,10	
		0,045	3,53	3,76	3,89	
		0,047	3,42	3,64	3,76	
		0,05	3,28	3,48	3,58	
		0,06	2,89	3,03	3,11	
		0,07	2,59	2,70	2,76	
		0,08	2,36	2,45	2,50	
		0,09	2,18	2,25	2,28	
		0,1	2,02	2,08	2,11	
		2	0,03	4,25	4,75	5,06
			0,04	3,58	3,91	4,10
	0,041		3,52	3,84	4,03	
	0,042		3,47	3,78	3,96	
	0,045		3,32	3,60	3,76	
	0,047		3,23	3,49	3,64	
	0,05		3,11	3,34	3,48	
	0,06		2,76	2,94	3,03	
	0,07		2,49	2,63	2,70	
	0,08		2,28	2,39	2,45	
	0,09		2,11	2,20	2,25	
	0,1		1,97	2,04	2,08	
	0,7	0,03	5,37	5,64	5,79	
		0,04	4,30	4,46	4,55	
		0,041	4,21	4,37	4,46	
		0,042	4,13	4,29	4,37	
		0,045	3,92	4,05	4,12	
		0,047	3,79	3,91	3,98	
		0,05	3,61	3,72	3,78	
		0,06	3,13	3,21	3,25	
		0,07	2,78	2,84	2,87	
		0,08	2,51	2,55	2,58	
		0,09	2,29	2,33	2,35	
		0,1	2,12	2,15	2,17	

**Таблица 2.7. Термическое сопротивление термопанели 2 при шаге термопрофиля 600, 900, 1200 мм высотой стенки термопрофиля 150 мм.
Длина термопанели 6 м.**

(Термопанель 2 состоит из: 2 слоя ГКЛ 12,5мм, утеплитель 50мм, термопрофиль с эффективным утеплителем, вентилируемый воздушный зазор 50 мм, облицовка плиты керамогранитные)

Толщина теплоизоляции (высота стенки термопрофиля), мм	Толщина стенки термопрофиля, мм	Расчетный коэф-т Теплопроводности утеплителя (λ), Вт/м °С	Термическое сопротивление (R^0), м ² °С/Вт, термопанели при шаге термопрофилей (В), мм			
			600	900	1200	
1	2	3	4	5	6	
150	0,8	0,03	5,72	5,96	6,08	
		0,04	4,55	4,69	4,77	
		0,041	4,46	4,60	4,67	
		0,042	4,38	4,51	4,57	
		0,045	4,14	4,25	4,31	
		0,047	4,00	4,10	4,16	
		0,05	3,80	3,89	3,94	
		0,06	3,27	3,34	3,38	
		0,07	2,89	2,94	2,96	
		0,08	2,59	2,63	2,65	
		0,09	2,35	2,39	2,40	
		0,1	2,16	2,19	2,20	
	1	1	0,03	5,56	5,84	5,99
			0,04	4,45	4,62	4,71
			0,041	4,37	4,53	4,62
			0,042	4,29	4,44	4,52
			0,045	4,06	4,20	4,27
			0,047	3,92	4,05	4,11
			0,05	3,73	3,85	3,91
			0,06	3,23	3,31	3,35
			0,07	2,85	2,91	2,94
			0,08	2,56	2,61	2,63
			0,09	2,33	2,37	2,39
			0,1	2,14	2,18	2,19
	1,2	1,2	0,03	5,42	5,72	5,90
			0,04	4,36	4,55	4,66
			0,041	4,28	4,46	4,56
			0,042	4,20	4,38	4,47
			0,045	3,98	4,14	4,22
			0,047	3,85	4,00	4,07
			0,05	3,67	3,80	3,87
			0,06	3,18	3,27	3,32
			0,07	2,82	2,89	2,92

		0,08	2,53	2,59	2,62	
		0,09	2,31	2,35	2,38	
		0,1	2,13	2,16	2,18	
	1,5	0,03	5,21	5,56	5,77	
		0,04	4,23	4,45	4,58	
		0,041	4,16	4,37	4,49	
		0,042	4,08	4,29	4,40	
		0,045	3,88	4,06	4,16	
		0,047	3,75	3,92	4,02	
		0,05	3,58	3,73	3,82	
		0,06	3,12	3,23	3,29	
		0,07	2,77	2,85	2,90	
		0,08	2,50	2,56	2,60	
		0,09	2,28	2,33	2,36	
		0,1	2,10	2,14	2,17	
		2	0,03	4,92	5,32	5,56
			0,04	4,04	4,30	4,45
	0,041		3,97	4,22	4,37	
	0,042		3,90	4,15	4,29	
	0,045		3,72	3,94	4,06	
	0,047		3,60	3,81	3,92	
	0,05		3,45	3,63	3,73	
	0,06		3,01	3,15	3,23	
	0,07		2,69	2,79	2,85	
	0,08		2,43	2,52	2,56	
	0,09		2,23	2,30	2,33	
	0,1		2,06	2,11	2,14	
	0,7	0,03	5,81	6,02	6,13	
		0,04	4,60	4,73	4,80	
		0,041	4,51	4,63	4,70	
		0,042	4,42	4,54	4,60	
		0,045	4,18	4,28	4,34	
		0,047	4,03	4,13	4,18	
		0,05	3,83	3,92	3,96	
		0,06	3,30	3,36	3,39	
		0,07	2,91	2,95	2,97	
		0,08	2,60	2,64	2,66	
		0,09	2,37	2,39	2,41	
		0,1	2,17	2,20	2,21	

Таблица 2.8. Термическое сопротивление термопанели 2 при шаге термопрофиля 600, 900,1200 мм высотой стенки термопрофиля 175 мм.

Длина термопрофиля 6м

(Термопанель 2 состоит из: 2 слоя ГКЛ 12,5мм, утеплитель 50мм, термопрофиль с эффективным утеплителем, вентилируемый воздушный зазор 50 мм, облицовка плиты керамогранитные)

Толщина теплоизоляции (высота стенки термопрофиля), мм	Толщина стенки термопрофиля, мм	Расчетный коэф-т теплопроводности утеплителя (λ), Вт/м °С	Термическое сопротивление (R0), м ² °С/Вт, термопанели при шаге термопрофилей (В), мм		
			600	900	1200
1	2	3	4	5	6
175	0,8	0,03	6,41	6,71	6,88
		0,04	5,12	5,30	5,40
		0,041	5,02	5,19	5,29
		0,042	4,92	5,09	5,18
		0,045	4,65	4,80	4,88
		0,047	4,49	4,63	4,71
		0,05	4,27	4,40	4,46
		0,06	3,69	3,77	3,82
		0,07	3,25	3,32	3,35
		0,08	2,91	2,96	2,99
		0,09	2,65	2,69	2,71
	0,1	2,43	2,46	2,48	
	1	0,03	6,21	6,56	6,75
		0,04	4,99	5,21	5,32
		0,041	4,89	5,10	5,21
		0,042	4,80	5,00	5,11
		0,045	4,55	4,73	4,82
		0,047	4,40	4,56	4,65
		0,05	4,19	4,34	4,41
		0,06	3,62	3,73	3,79
		0,07	3,20	3,28	3,32
		0,08	2,88	2,94	2,97
		0,09	2,62	2,67	2,69
	0,1	2,40	2,45	2,47	
	1,2	0,03	6,02	6,41	6,63
		0,04	4,87	5,12	5,25
		0,041	4,78	5,02	5,15
		0,042	4,69	4,92	5,04
		0,045	4,45	4,65	4,77
		0,047	4,31	4,49	4,60
		0,05	4,11	4,27	4,37
		0,06	3,56	3,69	3,75
	0,07	3,16	3,25	3,30	

		0,08	2,84	2,91	2,95	
		0,09	2,59	2,65	2,68	
		0,1	2,38	2,43	2,45	
	1,5	0,03	5,66	6,11	6,36	
		0,04	4,62	4,90	5,06	
		0,041	4,54	4,81	4,96	
		0,042	4,46	4,72	4,87	
		0,045	4,24	4,47	4,60	
		0,047	4,10	4,32	4,44	
		0,05	3,92	4,12	4,22	
		0,06	3,41	3,56	3,64	
		0,07	3,03	3,14	3,20	
		0,08	2,74	2,82	2,87	
		0,09	2,50	2,57	2,61	
		0,1	2,30	2,36	2,39	
		2	0,03	5,40	5,90	6,21
			0,04	4,46	4,80	4,99
	0,041		4,39	4,71	4,89	
	0,042		4,32	4,62	4,80	
	0,045		4,12	4,39	4,55	
	0,047		3,99	4,25	4,40	
	0,05		3,82	4,05	4,19	
	0,06		3,35	3,52	3,62	
	0,07		2,99	3,13	3,20	
	0,08		2,71	2,82	2,88	
	0,09		2,48	2,57	2,62	
	0,1		2,29	2,37	2,40	
	0,7	0,03	6,52	6,79	6,94	
		0,04	5,18	5,35	5,44	
		0,041	5,08	5,24	5,32	
		0,042	4,98	5,13	5,21	
		0,045	4,71	4,84	4,91	
		0,047	4,54	4,67	4,73	
0,05		4,32	4,43	4,49		
0,06		3,72	3,80	3,84		
0,07		3,27	3,33	3,36		
0,08		2,93	2,98	3,00		
0,09		2,66	2,70	2,72		
0,1		2,44	2,47	2,49		

2.1.4.2. Особенности расчета на основе температурного поля

Теплотехнический расчет неоднородных наружных ограждающих конструкций, содержащих сквозные теплопроводные включения, выполняют на основе расчета температурных полей по приложению М СП 23-101-2004 [5]. Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{\text{о}}^r$, м²·°С/Вт, неоднородной ограждающей конструкции или ее участка

(фрагмента) можно определить по формуле:

$$R_o^r = n(t_{int} - t_{ext})A/Q, \quad (2.9)$$

где A - площадь неоднородной ограждающей конструкции или ее фрагмента, м²;

Q - суммарный тепловой поток через конструкцию или ее фрагмент площадью A , Вт, определяемый на основе расчета температурного поля на ЭВМ либо экспериментально по ГОСТ 26254 или ГОСТ 26602.1 с внутренней стороны;

n - коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху, принимаемый согласно таблице 6 СНиП 23-02 с учетом примечания к этой таблице;

t_{int} - расчетная температура внутреннего воздуха, °С, принимаемая согласно указаниям 5.2 настоящего свода правил;

t_{ext} - расчетная температура наружного воздуха, °С, принимаемая согласно указаниям 5.1 настоящего свода правил.

Методика и примеры определения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций на основе расчета температурных полей на компьютере приведены в приложении М.

Приведенное сопротивление теплопередаче R_o^r всей ограждающей конструкции следует осуществлять по формуле

$$R_o^r = A / \left(\sum_{i=1}^m (A_i / R_{o,i}^r) \right), \quad (2.10)$$

где A_i , $R_{o,i}^r$ - соответственно площадь i -го участка характерной части ограждающей конструкции, м², и его приведенное сопротивление теплопередаче, м²·°С/Вт;

A - общая площадь конструкции, равная сумме площадей отдельных участков, м²;

m - число участков ограждающей конструкции с различным приведенным сопротивлением теплопередаче.

2.2. Оценка теплоустойчивости термопанели.

Теплоустойчивость рассчитывается в соответствии с СП [5] для однородных конструкций. Методики расчета теплоустойчивости многослойной конструкций с неоднородными включениями нет.

2.2.1. Требования по теплоустойчивости в холодный период года

Расчетная амплитуда суточных колебаний результирующей температуры воздуха в помещениях жилых и общественных зданий A_t^{des} не должна превышать нормируемого значения A_t^{req} , т.е. должно выполняться условие:

$$A_t^{des} \leq A_t^{req} \quad (2.11)$$

Значение A_t^{req} согласно СНиП 23-02-2003 [2] принимается равным 1,5 °С при наличии центрального отопления, 2,5 °С при электроотоплении и 3 °С при печном отоплении.

2.2.2. Особенности расчета теплоустойчивости в холодный период года

Для каждого однородного слоя определяют коэффициент теплоусвоения материала s по формуле:

$$s = \sqrt{\frac{2\rho\lambda_w c\gamma_0}{Z}}, \quad (2.12)$$

где λ_w – коэффициент внутренней теплопроводности материала при расчетной влажности; c – удельная теплоемкость материала; γ_0 – плотность (объемная масса) материала; Z – период колебаний температуры, принимаемый равным 24 ч.

Если слой неоднороден, то коэффициент теплоусвоения s_r для него определяют, как средневзвешенную величину.

Для неоднородного слоя коэффициент теплопроводности λ_w можно подсчитать как:

$$\lambda_w = \delta / R^r, \quad (2.13)$$

Удельную теплоемкость можно подсчитать как средневзвешенную величину

$$c = (c_1\gamma_1V_1 + c_2\gamma_2V_2) / (\gamma_1V_1 + \gamma_2V_2), \quad (2.14)$$

где c, γ, V – удельная теплоемкость, плотность и объем, соответственно, основного материала (индекс 1) и включения (индекс 2).

Аналогично найдем средневзвешенное значение плотности:

$$\gamma_o = (\gamma_1V_1 + \gamma_2V_2) / (V_1 + V_2), \quad (2.15)$$

Для каждого слоя ограждения показатель тепловой инерции вычисляется по формуле:

$$D = R \cdot s, \quad (2.16)$$

где R – термическое сопротивление слоя ограждающей конструкции; s – расчетный коэффициент теплоусвоения материала отдельного слоя ограждающей конструкции.

Для многослойной ограждающей конструкции:

$$D = D_1 + D_2 + \dots + D_n, \quad (2.16)$$

где D_1, D_2, \dots, D_n – расчетные значения тепловой инерции отдельных слоев ограждающей конструкции.

Расчетный коэффициент теплоусвоения воздушной прослойки принимается равным нулю. Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, не учитываются.

На величину коэффициента теплоусвоения внутренней поверхности ограждения Y_{int} влияют только теплотехнические свойства материалов ограждения, расположенных в слое резких колебаний, для которого $D=1$.

Необходимо установить в каком слое, считая от внутренней поверхности ограждения, располагается граница слоя резких колебаний. В зависимости от этого при определении Y_{int} могут встретиться следующие случаи.

1. Показатель тепловой инерции первого слоя $D_1 \geq 1$. Следовательно, слой резких колебаний полностью расположен в первом слое ограждения. На теплоусвоение внутренней поверхности ограждения материалы остальных слоев влияния не оказывают, и теплоусвоение внутренней поверхности ограждения Y_{int} будет равно коэффициенту теплоусвоения материала первого слоя s_1 , т.е. $Y_{int} = s_1$.

2. $D_1 < 1$, а $D_1 + D_2 \geq 1$. Слой резких колебаний расположен в двух первых слоях ограждения. При этом на Y_{int} оказывает влияние также и второй слой ограждения. Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждения определяется по формуле:

$$Y_{int} = \frac{R_1 s_1^2 + s_2}{1 + R_1 s_2}. \quad (2.17)$$

3. $D_1 + D_2 + \dots + D_{n-1} < 1$, а $D_1 + D_2 + \dots + D_n \geq 1$. Слой резких колебаний захватывает несколько слоев ограждения, т.е. граница его находится в n -ом слое ограждения.

Определение теплоусвоения начинается с внутренней поверхности $(n-1)$ -ого слоя по формуле:

$$Y_{n-1} = \frac{R_{n-1} s_{n-1}^2 + s_n}{1 + R_{n-1} s_n}. \quad (2.18)$$

Затем находят теплоусвоение внутренней поверхности $(n-2)$ -ого слоя по формуле:

$$Y_{n-2} = \frac{R_{n-2} s_{n-2}^2 + Y_{n-1}}{1 + R_{n-2} Y_{n-1}}. \quad (2.19)$$

Аналогично определяют коэффициент теплоусвоения $(n-3)$ -его слоя Y_{n-3} и т.д. до первого слоя, теплоусвоение которого Y_1 и будет равно теплоусвоению внутренней поверхности ограждения Y_{int} .

$$Y_1 = \frac{R_1 s_1^2 + Y_2}{1 + R_1 Y_2} = Y_{int}. \quad (2.20)$$

4. $D < 1$. Слой резких колебаний выходит за пределы ограждения, т.е. граница его находится снаружи ограждения. Тогда сначала определяют теплоусвоение внутренней поверхности последнего слоя ограждения (наружного слоя) по формуле

$$Y_n = \frac{R_n s_n^2 + \alpha_{ext}}{1 + R_n \alpha_{ext}}, \quad (2.21)$$

где α_{ext} - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения.

5. $D_i = 0$. Если отдельный слой ограждения или часть ограждения практически не обладает тепловой инерцией (окно, воздушная прослойка и т.п.), то коэффициент теплоусвоения материала (воздуха) такого слоя s принимается в расчетах равным 0.

2.2.3. Определение амплитуды колебаний температуры помещения.

Амплитуду колебаний температуры воздуха в помещении можно рассчитать по формуле:

$$A_t^{des} = m \cdot (t_{int} - t_{ext}) / BR_o^r, \quad (2.22)$$

где m – коэффициент неравномерности отопительного прибора.

Значение m принимается равным:

- при центральном отоплении – 0,1;
- при печном отоплении – 0,5.

Величина B носит название коэффициента теплопоглощения поверхности ограждения:

$$B = 1 / (1 / \alpha_{int} + 1 / Y_{int}), \quad (2.23)$$

где α_{int} — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С);

2.2.4. Расчет теплоустойчивости в холодный период года.

Выполним расчет конструкции стены на теплоустойчивость.

2.2.4.1. Ограждающая конструкция стена на базе термопрофиля 150мм, первый вариант.

Выполним расчет на теплоустойчивость стены на базе профиля 150мм, толщиной

профиля 1,5 мм, высотой 6 м, шаг стоек 600 мм, шаг вертикальной обрешетки 600 мм, горизонтальной обрешетки 1200 мм. С внутренней стороны имеется неоднородный слой в виде обрешетки с воздушными замкнутыми пустотами. Расчетной сопротивлением стены $R = 3,16 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$

В таблице 2.9 представлена характеристика слоев стены.

Таблица 2.9. Характеристика слоев стены и общее сопротивление стены теплопередаче

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0 , кг/м ³	Толщина δ , м	Расчетный коэффициент теплопроводности λ_w , Вт/(м °C)	Расчетное сопротивление теплопередаче R , (м ² ·°C)/Вт
1	Листы гипсовые обшивочные	800	0,025	0,21	0,119
2	Обрешетка + воздушные промежутки	-	0,045	-	0,137
3	Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)	930	0,0002	0,95	0
4	Минераловатный утеплитель +металлические стойки	119,4	0,15	0,056	2,7
5	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	0,045	-	0
6	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	0,01	-	0
Сумма			0,275	-	2,956

При наличии центрального отопления согласно СНиП 23-02-2003 нормируемое значение амплитуды суточных колебаний температуры составляет $A_t^{req} = 1,5 \text{ °C}$.

Для материала каждого слоя определяем коэффициент теплоусвоения материала s по формуле (2.12) и показатель тепловой инерции D по формуле (2.16).

Для неоднородных слоев коэффициент теплопроводности λ_w , удельную теплоемкость c , плотность γ_0 , подсчитаем как средневзвешенные величины.

Имеем:

1) Листы гипсовые обшивочные

$\lambda_0 = 0,15 \text{ Вт/(м °C)}$ - теплопроводность в сухом состоянии;

$\omega = 3\%$ - расчетное массовое отношение влаги в материале при условии эксплуатации Б;

$\mu = 0,075 \text{ мг/(м ч Па)}$ - паропроницаемость;

$c = 0,84 \text{ кДж/(кг °C)}$ – теплоемкость.

$$s = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,15 \cdot 0,84 \cdot 800}{3,6 \cdot 24}} = 2,7 \text{ Вт/(м}^2 \text{ °C)}$$

$$D = 0,119 \cdot 2,7 = 0,32$$

2) Обрешетка + воздушные промежутки

$$D = 0$$

3) Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)

$\lambda_0 = 0,12 \text{ Вт/(м °C)}$ - теплопроводность в сухом состоянии;

$\mu = 0,00002 \text{ мг/(м ч Па)}$ - паропроницаемость;

$c = 1,57 \text{ кДж/(кг °C)}$ – теплоемкость.

$$s = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,12 \cdot 1,57 \cdot 930}{3,6 \cdot 24}} = 3,57 \text{ Вт/(м}^2 \text{ °C)}$$

$$D = 0$$

4) Минераловатный утеплитель + металлические стойки

4.1) минераловатный утеплитель

$\lambda_o = 0,036$ Вт/(м °С) - теплопроводность в сухом состоянии;

$\omega = 5\%$ - расчетное массовое отношение влаги в материале при условии эксплуатации Б;

$\mu = 0,32$ мг/(м ч Па) - паропроницаемость;

$c = 0,84$ кДж/(кг °С) – теплоемкость.

4.1) металлические стойки

$\delta = 1,5$ мм – толщина стали;

$\lambda_o = 58$ Вт/(м °С) - теплопроводность в сухом состоянии;

$\omega = 0\%$ - расчетное массовое отношение влаги в материале при условии эксплуатации Б;

$\mu = 0$ мг/(м ч Па) - паропроницаемость;

$c = 0,482$ кДж/(кг °С) – теплоемкость.

Вычислим удельную теплоемкость, плотность и объем стойки с просечками как средневзвешенные величины по формулам (2.13), (2.14), (2.15).

$$\lambda'_w = 0,15 / 14,25 = 0,011 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)},$$

$$c' = (0,482 \cdot 7850 \cdot 0,0013338 + 1 \cdot 1,2 \cdot 0,0000162) / (7850 \cdot 0,0013338 + 1,2 \cdot 0,0000162) = 0,48201 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°С)},$$

$$\gamma'_o = 7850 \text{ кг/м}^3.$$

Вычислим удельную теплоемкость, плотность и объем неоднородного слоя 4 (минераловатный утеплитель + стойки с просечками), как средневзвешенные величины по формулам (2.13), (2.14), (2.15).

Получаем:

$$\lambda''_w = 0,15 / 2,7 = 0,056 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)},$$

$$c'' = (0,482 \cdot 7850 \cdot 0,00135 + 0,84 \cdot 100 \cdot 0,53865) / (7850 \cdot 0,00135 + 100 \cdot 0,53865) = 0,781 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°С)},$$

$$\gamma''_o = (7850 \cdot 0,00135 + 100 \cdot 0,53865) / (0,00135 + 0,53865) = 119,4 \text{ кг/м}^3.$$

Тогда, теплоусвоение и тепловая инерция термопанели вычислим по формулам (2.12), (2.16):

$$s = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,056 \cdot 0,781 \cdot 119,4}{3,6 \cdot 24}} = 0,616 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$$

$$D = 0,616 \cdot 2,7 = 1,66$$

5) Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор

$$D = 0$$

Результаты расчета сводим в таблицу 2.10

Таблица 2.10 Коэффициенты теплоусвоения и показатели тепловой инерции слоев покрытия

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0 , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ_w , Вт/(м·°С)	Удельная теплоемкость c , Дж/(кг·°С)	Коэффициент теплоусвоения s_i , Вт/(м ² ·°С)	Сопротивление теплопередаче R , м ² ·°С/Вт	Показатель тепловой инерции D
1	Листы гипсовые обшивочные	800	0,21	840	2,7	0,119	0,32
2	Обрешетка + воздушные промежутки	-	-	-	-	0,137	0
3	Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)	930	0,12	1570	3,57	0,002	0,01
4	Минераловатный утеплитель +металлические стойки	119,4	0,056	781	0,616	2,7	1,66
5	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	-	-	-	-	0
6	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	-	-	-	-	0
Сумма							1,99

Из таблице 2.10 следует, что зона резких колебаний расположена в четырех первых слоях ограждения, поэтому *коэффициент теплоусвоения* внутренней поверхности ограждения определяется по формулам (2.17) – (2.21).

Получаем:

$$Y_3 = \frac{R_3 s_3^2 + s_4}{1 + R_3 s_4} = \frac{0,002 \cdot 3,57^2 + 0,616}{1 + 0,002 \cdot 0,616} = 0,641$$

$$Y_2 = \frac{R_2 s_2^2 + Y_3}{1 + R_2 Y_3} = \frac{0,137 \cdot 0^2 + 0,641}{1 + 0,137 \cdot 0,641} = 0,59$$

$$Y_1 = \frac{R_1 s_1^2 + Y_2}{1 + R_1 Y_2} = \frac{0,119 \cdot 2,7^2 + 0,59}{1 + 0,119 \cdot 0,59} = 1,36$$

$$Y_1 = Y_{int} = 1,36$$

Коэффициента теплопоглощения поверхности ограждения по формуле (2.23) равен:

$$B = 1/(1/8,7 + 1/1,36) = 1,176$$

Амплитуду колебаний температуры воздуха в помещении рассчитаем по формуле (2.22). Получаем:

$$A_t^{des} = 0,1 \cdot (20 - (-26)) / 1,176 \cdot 3,16 = 1,24 \text{ °С} < A_t^{req} = 1,5 \text{ °С}$$

где 0,1– коэффициент неравномерности отопительного прибора, принятый при условии наличия в здание центрального отопления;

3,16 м²·°С/Вт – приведенное сопротивление теплопередаче конструкции стены.

Полученный результат позволяет сделать вывод: данная конструкция удовлетворяет требованиям по теплоустойчивости в холодный период года.

2.2.4.2. Ограждающая конструкция стены на базе термопрофиля 150мм, второй вариант.

Выполним расчет на теплоустойчивость стены на базе профиля 150мм, толщиной профиля 1,5 мм, высотой 6 м, шаг стоек 600 мм, шаг вертикальной обрешетки 600 мм, горизонтальной обрешетки 1200 мм. С внутренней стороны имеется неоднородный слой в виде обрешетки с утеплителем в пустотах. Расчетной сопротивлением стены $R = 3,88$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$).

В таблице 2.11 представлена характеристика слоев стены.

Таблица 1.11. Характеристика слоев стены и общее сопротивление стены теплопередаче

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0 , кг/м ³	Толщина δ , м	Расчетный коэффициент теплопроводности λ_w , Вт/(м °C)	Расчетное сопротивление теплопередаче R , ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)
1	Листы гипсовые обшивочные	800	0,025	0,21	0,119
2	Обрешетка + минераловатный утеплитель	113,87	0,045	0,053	0,849
3	Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)	930	0,0002	0,95	0
4	Минераловатный утеплитель +металлические стойки	119,4	0,15	0,056	2,7
5	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	0,045	-	0
6	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	0,01	-	0
Сумма			0,275	-	3,668

Нормируемое значение амплитуда суточных колебаний температуры составляет $A_t^{req} = 1,5$ °C (при наличии центрального отопления согласно СНиП 23-02-2003).

Для материала каждого слоя определяем коэффициент теплоусвоения материала s по формуле (2.12) и показатель тепловой инерции D по формуле (2.16).

Для неоднородных слоев коэффициент теплопроводности λ_w , удельную теплоемкость c , плотность γ_0 , подсчитаем как средневзвешенные величины.

Имеем:

1) Листы гипсовые обшивочные

$\lambda_0 = 0,15$ Вт/(м °C) - теплопроводность в сухом состоянии;

$\omega = 3\%$ - расчетное массовое отношение влаги в материале при условии эксплуатации Б;

$\mu = 0,075$ мг/(м ч Па) - паропроницаемость;

$c = 0,84$ кДж/(кг °C) – теплоемкость.

$$s = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,15 \cdot 0,84 \cdot 800}{3,6 \cdot 24}} = 2,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ °C})$$

$$D = 0,119 \cdot 2,7 = 0,32$$

2) Обрешетка + минераловатный утеплитель

2.1) минераловатный утеплитель

$\lambda_0 = 0,036$ Вт/(м °C) - теплопроводность в сухом состоянии;

$\omega = 5\%$ - расчетное массовое отношение влаги в материале при условии эксплуатации Б;

$\mu = 0,32$ мг/(м ч Па) - паропроницаемость;

$c = 0,84$ кДж/(кг °C) – теплоемкость.

2.1) горизонтальная обрешетка

$\delta = 0,6$ мм – толщина стали;

$\lambda_0 = 58$ Вт/(м °C) - теплопроводность в сухом состоянии;

$\omega = 0\%$ - расчетное массовое отношение влаги в материале при условии эксплуатации Б;

$\mu = 0 \text{ мг}/(\text{м ч Па})$ - паропроницаемость;

$c = 0,482 \text{ кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{С})$ – теплоемкость.

Вычислим удельную теплоемкость, плотность и объем неоднородного слоя 2 (минераловатный утеплитель + обрешетка), как средневзвешенные величины по формулам (2.13), (2.14), (2.15).

Получаем:

$$\lambda_w' = 0,045 / 0,849 = 0,053 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{С}),$$

$$c' = (0,482 \cdot 7850 \cdot 0,00029 + 0,84 \cdot 100 \cdot 0,1617) / (7850 \cdot 0,00029 + 100 \cdot 0,1617) = 0,796 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}),$$

$$\gamma_o' = (7850 \cdot 0,00029 + 100 \cdot 0,1617) / (0,00029 + 0,1617) = 113,87 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Тогда, теплоусвоение и тепловая инерция термopanели вычислим по формулам (2.15), (2.165):

$$s = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,053 \cdot 0,796 \cdot 113,87}{3,6 \cdot 24}} = 0,591 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$$

$$D = 0,591 \cdot 0,849 = 0,5$$

3) Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)

$\lambda_o = 0,12 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{С})$ - теплопроводность в сухом состоянии;

$\mu = 0,00002 \text{ мг}/(\text{м ч Па})$ - паропроницаемость;

$c = 1,57 \text{ кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{С})$ – теплоемкость.

$$s = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,12 \cdot 1,57 \cdot 930}{3,6 \cdot 24}} = 3,57 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$$

$$D = 0$$

4) Минераловатный утеплитель + металлические стойки

4.1) минераловатный утеплитель

$\lambda_o = 0,036 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{С})$ - теплопроводность в сухом состоянии;

$\omega = 5\%$ - расчетное массовое отношение влаги в материале при условии эксплуатации Б;

$\mu = 0,32 \text{ мг}/(\text{м ч Па})$ - паропроницаемость;

$c = 0,84 \text{ кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{С})$ – теплоемкость.

4.1) металлические стойки

$\delta = 1,5 \text{ мм}$ – толщина стали;

$\lambda_o = 58 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{С})$ - теплопроводность в сухом состоянии;

$\omega = 0\%$ - расчетное массовое отношение влаги в материале при условии эксплуатации Б;

$\mu = 0 \text{ мг}/(\text{м ч Па})$ - паропроницаемость;

$c = 0,482 \text{ кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{С})$ – теплоемкость.

Вычислим удельную теплоемкость, плотность и объем стойки с просечками как средневзвешенные величины по формулам (2.13), (2.14), (2.15).

$$\lambda_w = 0,15 / 14,25 = 0,011 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С}),$$

$$c' = (0,482 \cdot 7850 \cdot 0,0013338 + 1 \cdot 1,2 \cdot 0,0000162) / (7850 \cdot 0,0013338 + 1,2 \cdot 0,0000162) = 0,48201 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}),$$

$$\gamma_o' = 7850 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Вычислим удельную теплоемкость, плотность и объем неоднородного слоя 4 (минераловатный утеплитель + стойки с просечками), как средневзвешенные величины по формулам (2.13), (2.14), (2.15). Получаем:

$$\lambda_w'' = 0,15 / 2,7 = 0,056 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{С}),$$

$$c'' = (0,482 \cdot 7850 \cdot 0,00135 + 0,84 \cdot 100 \cdot 0,53865) / (7850 \cdot 0,00135 + 100 \cdot 0,53865) = 0,781 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}),$$

$$\gamma_o'' = (7850 \cdot 0,00135 + 100 \cdot 0,53865) / (0,00135 + 0,53865) = 119,4 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Тогда, теплоусвоение и тепловая инерция термopanели вычислим по формулам (2.12), (2.16):

$$s = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,056 \cdot 0,781 \cdot 119,4}{3,6 \cdot 24}} = 0,616 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

$$D = 0,616 \cdot 2,7 = 1,66$$

5) Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор

$$D = 0$$

Результаты расчета сводим в таблицу 1.12

Таблица 2.12 Коэффициенты теплоусвоения и показатели тепловой инерции слоев покрытия

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0 , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ_w , Вт/(м·°C)	Удельная теплоемкость c , Дж/(кг·°C)	Коэффициент теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°C)	Сопротивление теплопередаче R , м ² ·°C/Вт	Показатель тепловой инерции D
1	Листы гипсовые обшивочные	800	0,21	840	2,7	0,119	0,32
2	Обрешетка + утеплитель	113,87	0,053	796	0,591	0,849	0,5
3	Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)	930	0,12	1570	3,57	0,002	0,01
4	Минераловатный утеплитель ВЕНТИ БАТТС+металлические стойки	119,4	0,056	781	0,616	2,7	1,66
5	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	-	-	-	-	0
6	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	-	-	-	-	0
Сумма							2,49

Из таблице 2.12 следует, что зона резких колебаний расположена в четырех первых слоях ограждения, поэтому коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждения определяется по формулам (2.17) – (2.21).

Получаем:

$$Y_3 = \frac{R_3 s_3^2 + s_4}{1 + R_3 s_4} = \frac{0,002 \cdot 3,57^2 + 0,616}{1 + 0,002 \cdot 0,616} = 0,641$$

$$Y_2 = \frac{R_2 s_2^2 + Y_3}{1 + R_2 Y_3} = \frac{0,849 \cdot 0,594^2 + 0,641}{1 + 0,849 \cdot 0,641} = 0,61$$

$$Y_1 = \frac{R_1 s_1^2 + Y_2}{1 + R_1 Y_2} = \frac{0,119 \cdot 2,7^2 + 0,61}{1 + 0,119 \cdot 0,61} = 1,38$$

$$Y_1 = Y_{\text{int}} = 1,38$$

Коэффициента теплопоглощения поверхности ограждения по формуле (2.23) равен:

$$B = 1/(1/8,7 + 1/1,38) = 1,19$$

Амплитуду колебаний температуры воздуха в помещении рассчитаем по формуле (2.22). Получаем:

$$A_t^{des} = 0,1 \cdot (20 - (-26)) / 1,19 \cdot 3,88 = 0,996 \text{ } ^\circ\text{C} < A_t^{req} = 1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где 0,1– коэффициент неравномерности отопительного прибора, принятый при условии наличия в здании центрального отопления;

3,88 м²·°C/Вт – приведенное сопротивление теплопередаче конструкции стены.

Полученный результат позволяет сделать вывод: данная конструкция удовлетворяет требованиям по теплоустойчивости в холодный период года.

2.2.4.3. Ограждающая конструкция стена на базе термопрофиля 175мм, первый вариант.

Выполним расчет на теплоустойчивость стены на базе профиля 175мм, толщиной профиля 1,5 мм, высотой 6 м, шаг стоек 600 мм, шаг вертикальной обрешетки 600 мм, горизонтальной обрешетки 1200 мм. С внутренней стороны имеется неоднородный слой в виде обрешетки с воздушными замкнутыми пустотами. Расчетной сопротивлением стены $R = 3,53 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$

В таблице 2.13 представлена характеристика слоев стены.

Таблица 2.13. Характеристика слоев стены и общее сопротивление стены теплопередаче

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0 , кг/м ³	Толщина δ , м	Расчетный коэффициент теплопроводности λ_w , Вт/(м·°C)	Расчетное сопротивление теплопередаче R , (м ² ·°C)/Вт
1	Листы гипсовые обшивочные	800	0,025	0,21	0,119
2	Обрешетка + воздушные промежутки	-	0,045	-	0,137
3	Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)	930	0,0002	0,95	0
4	Минераловатный утеплитель +металлические стойки	119,4	0,175	-	3,06
5	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	0,045	-	0
6	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	0,01	-	0
Сумма			0,3	-	3,316

При наличии центрального отопления согласно СНиП 23-02-2003 нормируемое значение амплитуды суточных колебаний температуры составляет $A_t^{req} = 1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Для материала каждого слоя определяем коэффициент теплоусвоения материала s по формуле (2.12) и показатель тепловой инерции D по формуле (2.16).

Для неоднородных слоев коэффициент теплопроводности λ_w , удельную теплоемкость c , плотность γ_0 , подсчитаем как средневзвешенные величины.

Имеем:

1) Листы гипсовые обшивочные

$\lambda_0 = 0,15 \text{ Вт/(м } ^\circ\text{C)}$ - теплопроводность в сухом состоянии;

$\omega = 3\%$ - расчетное массовое отношение влаги в материале при условии эксплуатации Б;

$\mu = 0,075 \text{ мг/(м ч Па)}$ - паропроницаемость;

$c = 0,84 \text{ кДж/(кг } ^\circ\text{C)}$ – теплоемкость.

$$s = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,15 \cdot 0,84 \cdot 800}{3,6 \cdot 24}} = 2,7 \text{ Вт/(м}^2 \text{ °С)}$$

$$D = 0,119 \cdot 2,7 = 0,32$$

2) Обрешетка + воздушные промежутки

$$D = 0$$

3) Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)

$\lambda_o = 0,12 \text{ Вт/(м °С)}$ - теплопроводность в сухом состоянии;

$\mu = 0,00002 \text{ мг/(м ч Па)}$ - паропроницаемость;

$c = 1,57 \text{ кДж/(кг °С)}$ – теплоемкость.

$$s = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,12 \cdot 1,57 \cdot 930}{3,6 \cdot 24}} = 3,57 \text{ Вт/(м}^2 \text{ °С)}$$

$$D = 0$$

4) Минераловатный утеплитель + металлические стойки

4.1) минераловатный утеплитель ВЕНТИ БАТТС

$\lambda_o = 0,036 \text{ Вт/(м °С)}$ - теплопроводность в сухом состоянии;

$\omega = 5\%$ - расчетное массовое отношение влаги в материале при условии эксплуатации Б;

$\mu = 0,32 \text{ мг/(м ч Па)}$ - паропроницаемость;

$c = 0,84 \text{ кДж/(кг °С)}$ – теплоемкость.

4.1) металлические стойки

$\delta = 1,5 \text{ мм}$ – толщина стали;

$\lambda_o = 58 \text{ Вт/(м °С)}$ - теплопроводность в сухом состоянии;

$\omega = 0\%$ - расчетное массовое отношение влаги в материале при условии эксплуатации Б;

$\mu = 0 \text{ мг/(м ч Па)}$ - паропроницаемость;

$c = 0,482 \text{ кДж/(кг °С)}$ – теплоемкость.

$$\gamma_o = 7850 \text{ кг/м}^3.$$

Вычислим удельную теплоемкость, плотность и объем стойки с просечками как средневзвешенные величины по формулам (2.13), (2.14), (2.15).

$$\lambda_w' = 0,175 / 14,42 = 0,012 \text{ Вт/(м °С)},$$

$$c' = (0,482 \cdot 7850 \cdot 0,0015588 + 1 \cdot 1,2 \cdot 0,0000162) / (7850 \cdot 0,0015588 + 1,2 \cdot 0,0000162) = 0,482$$

кДж/(кг·°С),

$$\gamma_o' = 7850 \text{ кг/м}^3.$$

Вычислим удельную теплоемкость, плотность и объем неоднородного слоя 4 (минераловатный утеплитель + стойки с просечками), как средневзвешенные величины по формулам (2.13), (2.14), (2.15).

Получаем:

$$\lambda_w'' = 0,175 / 3,06 = 0,057 \text{ Вт/(м °С)},$$

$$c'' = (0,482 \cdot 7850 \cdot 0,001575 + 0,84 \cdot 100 \cdot 0,628425) / (7850 \cdot 0,001575 + 100 \cdot 0,628425) = 0,781$$

кДж/(кг·°С),

$$\gamma_o'' = (7850 \cdot 0,001575 + 100 \cdot 0,628425) / (0,001575 + 0,628425) = 119,4 \text{ кг/м}^3.$$

Тогда, теплоусвоение и тепловая инерция термopанели вычислим по формулам (2.12), (2.16):

$$s = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,057 \cdot 0,781 \cdot 119,4}{3,6 \cdot 24}} = 0,622 \text{ Вт/(м}^2 \text{ °С)}$$

$$D = 0,622 \cdot 3,06 = 1,9$$

5) Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор

$$D = 0$$

Результаты расчета сводим в таблицу 2.14

Таблица 2.14 Коэффициенты теплоусвоения и показатели тепловой инерции слоев покрытия

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0 , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ_w , Вт/(м·°С)	Удельная теплоемкость c , Дж/(кг·°С)	Коэффициент теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°С)	Сопrotивление теплопередаче R , м ² ·°С/Вт	Показатель тепловой инерции D
1	Листы гипсовые обшивочные	800	0,21	840	2,7	0,119	0,32
2	Обрешетка + воздушные промежутки	-	-	-	-	0,137	0
3	Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)	930	0,12	1570	3,57	0,002	0,01
4	Минераловатный утеплитель +металлические стойки	119,4	0,057	782	0,622	3,06	1,9
5	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	-	-	-	-	0
6	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	-	-	-	-	0
Сумма							2,22

Из таблице 2.14 следует, что зона резких колебаний расположена в четырех первых слоях ограждения, поэтому *коэффициент теплоусвоения* внутренней поверхности ограждения определяется по формулам (2.17) – (2.21).

Получаем:

$$Y_3 = \frac{R_3 s_3^2 + s_4}{1 + R_3 s_4} = \frac{0,002 \cdot 3,57^2 + 0,622}{1 + 0,002 \cdot 0,622} = 0,647$$

$$Y_2 = \frac{R_2 s_2^2 + Y_3}{1 + R_2 Y_3} = \frac{0,137 \cdot 0^2 + 0,647}{1 + 0,137 \cdot 0,647} = 0,595$$

$$Y_1 = \frac{R_1 s_1^2 + Y_2}{1 + R_1 Y_2} = \frac{0,119 \cdot 2,7^2 + 0,595}{1 + 0,119 \cdot 0,595} = 1,366$$

$$Y_1 = Y_{int} = 1,366$$

Коэффициента теплопоглощения поверхности ограждения по формуле (2.23) равен:

$$B = 1/(1/8,7 + 1/1,366) = 1,18$$

Амплитуду колебаний температуры воздуха в помещении рассчитаем по формуле (2.22). Получаем:

$$A_t^{des} = 0,1 \cdot (20 - (-26))/1,18 \cdot 3,53 = 1,1 \text{ °С} < A_t^{req} = 1,5 \text{ °С}$$

где 0,1– коэффициент неравномерности отопительного прибора, принятый при условии наличия в здание центрального отопления;

3,53 м²·°С/Вт – приведенное сопротивление теплопередаче конструкции стены.

Полученный результат позволяет сделать вывод: данная конструкция удовлетворяет требованиям по теплоустойчивости в холодный период года.

2.2.4.4. Ограждающая конструкция стены на базе термопрофиля 175мм, второй вариант.

Выполним расчет на теплоустойчивость стены на базе профиля 150мм, толщиной профиля 1,5 мм, высотой 6 м, шаг стоек 600 мм, шаг вертикальной обрешетки 600 мм, горизонтальной обрешетки 1200 мм. С внутренней стороны имеется неоднородный слой в виде обрешетки с утеплителем в пустотах. Расчетной сопротивлением стены $R = 4,32$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)

В таблице 2.15 представлена характеристика слоев стены.

Таблица 2.15. Характеристика слоев стены и общее сопротивление стены теплопередаче

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0 , кг/м ³	Толщина δ , м	Расчетный коэффициент теплопроводности λ_w , Вт/(м °C)	Расчетное сопротивление теплопередаче R , ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$)
1	Листы гипсовые обшивочные	800	0,025	0,21	0,119
2	Обрешетка + минераловатный утеплитель	113,87	0,045	0,053	0,849
3	Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)	930	0,0002	0,95	0
4	Минераловатный утеплитель +металлические стойки	119,4	0,175	0,057	3,06
5	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	0,045	-	0
6	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	0,01	-	0
Сумма			0,3	-	4,028

Нормируемое значение амплитуда суточных колебаний температуры составляет $A_t^{req} = 1,5$ °C (при наличии центрального отопления согласно СНиП 23-02-2003).

Для материала каждого слоя определяем коэффициент теплоусвоения материала s по формуле (2.12) и показатель тепловой инерции D по формуле (2.16).

Для неоднородных слоев коэффициент теплопроводности λ_w , удельную теплоемкость c , плотность γ_0 , подсчитаем как средневзвешенные величины.

Имеем:

1) Листы гипсовые обшивочные

$\lambda_0 = 0,15$ Вт/(м °C) - теплопроводность в сухом состоянии;

$\omega = 3\%$ - расчетное массовое отношение влаги в материале при условии эксплуатации Б;

$\mu = 0,075$ мг/(м ч Па) - паропроницаемость;

$c = 0,84$ кДж/(кг °C) – теплоемкость.

$$s = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,15 \cdot 0,84 \cdot 800}{3,6 \cdot 24}} = 2,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ °C})$$

$$D = 0,119 \cdot 2,7 = 0,32$$

2) Обрешетка + минераловатный утеплитель

2.1) минераловатный утеплитель

$\lambda_0 = 0,036$ Вт/(м °C) - теплопроводность в сухом состоянии;

$\omega = 5\%$ - расчетное массовое отношение влаги в материале при условии эксплуатации Б;

$\mu = 0,32$ мг/(м ч Па) - паропроницаемость;

$c = 0,84$ кДж/(кг °C) – теплоемкость.

2.1) горизонтальная обрешетка

$\delta = 0,6$ мм – толщина стали;

$\lambda_o = 58 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ - теплопроводность в сухом состоянии;
 $\omega = 0\%$ - расчетное массовое отношение влаги в материале при условии эксплуатации Б;
 $\mu = 0 \text{ мг/(м ч Па)}$ - паропроницаемость;
 $c = 0,482 \text{ кДж/(кг}^\circ\text{С)}$ – теплоемкость.

Вычислим удельную теплоемкость, плотность и объем неоднородного слоя 2 (минераловатный утеплитель + обрешетка), как средневзвешенные величины по формулам (2.13), (2.14), (2.15).

Получаем:

$$\lambda_w' = 0,045 / 0,849 = 0,053 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)},$$

$$c' = (0,482 \cdot 7850 \cdot 0,00029 + 0,84 \cdot 100 \cdot 0,1617) / (7850 \cdot 0,00029 + 100 \cdot 0,1617) = 0,796 \text{ кДж/(кг}^\circ\text{С)},$$

$$\gamma_o' = (7850 \cdot 0,00029 + 100 \cdot 0,1617) / (0,00029 + 0,1617) = 113,87 \text{ кг/м}^3.$$

Тогда, теплоусвоение и тепловая инерция термopанели вычислим по формулам (2.12), (2.16):

$$s = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,053 \cdot 0,796 \cdot 113,87}{3,6 \cdot 24}} = 0,591 \text{ Вт/(м}^2\text{ }^\circ\text{С)}$$

$$D = 0,591 \cdot 0,849 = 0,5$$

3) Парoизоляция (п/э пленка в 1 слой)

$\lambda_o = 0,12 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ - теплопроводность в сухом состоянии;

$\mu = 0,00002 \text{ мг/(м ч Па)}$ - паропроницаемость;

$c = 1,57 \text{ кДж/(кг}^\circ\text{С)}$ – теплоемкость.

$$s = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,12 \cdot 1,57 \cdot 930}{3,6 \cdot 24}} = 3,57 \text{ Вт/(м}^2\text{ }^\circ\text{С)}$$

$$D = 0$$

4) Минераловатный утеплитель + металлические стойки

4.1) минераловатный утеплитель

$\lambda_o = 0,036 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ - теплопроводность в сухом состоянии;

$\omega = 5\%$ - расчетное массовое отношение влаги в материале при условии эксплуатации Б;

$\mu = 0,32 \text{ мг/(м ч Па)}$ - паропроницаемость;

$c = 0,84 \text{ кДж/(кг}^\circ\text{С)}$ – теплоемкость.

4.1) металлические стойки

$\delta = 1,5 \text{ мм}$ – толщина стали;

$\lambda_o = 58 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ - теплопроводность в сухом состоянии;

$\omega = 0\%$ - расчетное массовое отношение влаги в материале при условии эксплуатации Б;

$\mu = 0 \text{ мг/(м ч Па)}$ - паропроницаемость;

$c = 0,482 \text{ кДж/(кг}^\circ\text{С)}$ – теплоемкость.

Вычислим удельную теплоемкость, плотность и объем стойки с просечками как средневзвешенные величины по формулам (2.13), (2.14), (2.15).

$$\lambda_w' = 0,175 / 14,42 = 0,012 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)},$$

$$c' = (0,482 \cdot 7850 \cdot 0,0015588 + 1 \cdot 1,2 \cdot 0,0000162) / (7850 \cdot 0,0015588 + 1,2 \cdot 0,0000162) = 0,482 \text{ кДж/(кг}^\circ\text{С)},$$

$$\gamma_o' = 7850 \text{ кг/м}^3.$$

Вычислим удельную теплоемкость, плотность и объем неоднородного слоя 4 (минераловатный утеплитель + стойки с просечками), как средневзвешенные величины по формулам (2.13), (2.14), (2.15).

Получаем:

$$\lambda_w'' = 0,175 / 3,06 = 0,057 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)},$$

$$c'' = (0,482 \cdot 7850 \cdot 0,001575 + 0,84 \cdot 100 \cdot 0,628425) / (7850 \cdot 0,001575 + 100 \cdot 0,628425) = 0,781 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{°C)},$$

$$\gamma''_o = (7850 \cdot 0,001575 + 100 \cdot 0,628425) / (0,001575 + 0,628425) = 119,4 \text{ кг/м}^3.$$

Тогда, теплоусвоение и тепловая инерция термopanели вычислим по формулам (2.12), (2.16):

$$s = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,057 \cdot 0,781 \cdot 119,4}{3,6 \cdot 24}} = 0,622 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

$$D = 0,622 \cdot 3,06 = 1,9$$

5) Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор

$$D = 0$$

Результаты расчета сводим в таблицу 2.16

Таблица 2.16 Коэффициенты теплоусвоения и показатели тепловой инерции слоев покрытия

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0 , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ_w , Вт/(м·°C)	Удельная теплоемкость c , Дж/(кг·°C)	Коэффициент теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°C)	Сопротивление теплопередаче R , м ² ·°C/Вт	Показатель тепловой инерции D
1	Листы гипсовые обшивочные	800	0,21	840	2,7	0,119	0,32
2	Обрешетка + утеплитель	113,87	0,053	796	0,591	0,849	0,5
3	Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)	930	0,12	1570	3,57	0,002	0,01
4	Минераловатный утеплитель +металлические стойки	119,4	0,057	781	0,622	3,06	1,9
5	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	-	-	-	-	0
6	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	-	-	-	-	0
Сумма							2,73

Из таблице 2.16 следует, что зона резких колебаний расположена в четырех первых слоях ограждения, поэтому коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждения определяется по формулам (2.17) – (2.21).

Получаем:

$$Y_3 = \frac{R_3 s_3^2 + s_4}{1 + R_3 s_4} = \frac{0,002 \cdot 3,57^2 + 0,622}{1 + 0,002 \cdot 0,622} = 0,647$$

$$Y_2 = \frac{R_2 s_2^2 + Y_3}{1 + R_2 Y_3} = \frac{0,849 \cdot 0,591^2 + 0,647}{1 + 0,849 \cdot 0,647} = 0,609$$

$$Y_1 = \frac{R_1 s_1^2 + Y_2}{1 + R_1 Y_2} = \frac{0,119 \cdot 2,7^2 + 0,609}{1 + 0,119 \cdot 0,609} = 1,38$$

$$Y_1 = Y_{int} = 1,38$$

Коэффициента теплопоглощения поверхности ограждения по формуле (2.23) равен:

$$B = 1/(1/8,7 + 1/1,38) = 1,19$$

Амплитуду колебаний температуры воздуха в помещении рассчитаем по формуле (2.22). Получаем:

$$A_t^{des} = 0,1 \cdot (20 - (-26))/1,19 \cdot 4,33 = 0,89 \text{ } ^\circ\text{C} < A_t^{req} = 1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где 0,1 – коэффициент неравномерности отопительного прибора, принятый при условии наличия в здании центрального отопления;

4,33 м²·°C/Вт – приведенное сопротивление теплопередаче конструкции стены.

Полученный результат позволяет сделать вывод: данная конструкция удовлетворят требованиям по теплоустойчивости в холодный период года.

2.3. Оценка воздухопроницаемости термопанели.

Сопротивление воздухопроницанию стен жилых и общественных зданий J^{des} должно быть не менее нормируемого сопротивления воздухопроницанию J^{req} , м²·ч·Па/кг, определяемого по формуле:

$$J^{req} = \Delta p / G_n, \quad (2.24)$$

где Δp – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций; G_n – нормируемая воздухопроницаемость стен, покрытий и перекрытий жилых и общественных зданий, которую следует принимать равной 0,5 кг/(м²·ч).

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждения Δp , Па, определяют по формуле:

$$\Delta p = 0,55H(\gamma_{ext} - \gamma_{int}) + 0,03\gamma_{ext}v^2, \quad (2.25)$$

где H – высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты), м; v – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, принимаемая по табл. П.2 приложения; γ_{ext} , γ_{int} – удельный вес, соответственно, наружного и внутреннего воздуха, Н/м³, определяемый по формулам:

$$\gamma_{ext} = 3463/(273 + t_{ext}), \quad (2.26)$$

$$\gamma_{int} = 3463/(273 + t_{int}), \quad (2.27)$$

2.3.1. Особенности расчета воздухопроницаемости термопанели.

Сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции J^{des} , м²·ч·Па/кг, следует определять по формуле:

$$J^{des} = J_1 + J_2 + J_3 + \dots + J_n, \quad (2.28)$$

где J_1 , J_2 , J_3 , ..., J_n – сопротивления воздухопроницанию отдельных слоев ограждающей конструкции, м²·ч·Па/кг.

Сопротивление воздухопроницанию стен жилых и общественных зданий J^{des} должно быть не менее нормируемого сопротивления воздухопроницанию J^{req} (2.24), которое составляет:

$$J^{req} = 88,87/0,5 = 177,74 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}.$$

При этом нормируемая воздухопроницаемость стен принята равной 0,5 кг/(м²·ч). Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях стены получена по формуле (2.25):

$$\Delta p = 0,55 \cdot 6(14,02 - 11,82) + 0,03 \cdot 14,02 \cdot 4,22 = 88,87 \text{ Па}.$$

Высота термопанели $H=6$ м. Удельные веса, наружного и внутреннего воздуха, H/m^3 , определяем по формулам (2.26) и (2.27), соответственно, равными:

$$\gamma_{ext} = 3463 / (273 - 26) = 14,02,$$

$$\gamma_{int} = 3463 / (273 + 20) = 11,82.$$

Сопrotивление воздухопроницанию стены J^{des} , $m^2 \cdot ч \cdot Па/кг$, определяем по формуле (2.28). Сопrotивление воздухопроницанию воздушных прослоек принимаем равным нулю независимо от толщины слоя.

При высоте здания свыше 60 м скорость ветра следует умножить на коэффициент изменения скорости ветра по высоте, принимаемый по таблице 18 СП [5]:

$$v = 4 \cdot 1,9 = 7,6 \text{ м/с}$$

Сопrotивление воздухопроницанию стен равно:

$$\Delta p = 0,55 \cdot 90(14,02 - 11,82) + 0,03 \cdot 14,02 \cdot 7,6 = 112,1 \text{ Па.}$$

$$J^{req} = 112,1 / 0,5 = 224,2 \text{ м}^2 \cdot ч \cdot Па/кг.$$

Сопrotивление воздухопроницанию стен на максимальные значения:

$$\Delta p = 0,55 \cdot 90(14,02 - 11,82) + 0,03 \cdot 14,02 \cdot 20 = 201,432 \text{ Па.}$$

$$J^{req} = 201,432 / 0,5 = 402,864 \text{ м}^2 \cdot ч \cdot Па/кг.$$

$v = 20$ м/с – скорость порыва ветра.

$H=90$ м - высота здания.

2.3.1.1. Ограждающая конструкция стена на базе термопрофиля 150 мм, первый вариант.

Результаты расчета представлены в таблице 2.17.

Таблица 2.17. Характеристика слоев стены и их сопротивление стены воздухопроницанию

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0 , кг/м ³	Толщина δ , м	Сопrotивление воздухопроницанию J^{des} , м ² ·ч·Па/кг
1	Листы гипсовые обшивочные	800	0,025	50
2	Обрешетка + воздушные промежутки	-	0,045	0
3	Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)	930	0,0002	1000
4	Минераловатный утеплитель + металлические стойки	119,4	0,15	6
5	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	0,045	0
6	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	0,01	0
Сумма				1056

Проведенный расчет показывает, что требование СНиП 23-02-2003 к конструкции стены по воздухопроницаемости выполнено, т. к. $J^{des} \gg J^{req}$, как для нормативных, так и для максимальных значений скорости ветра.

2.3.1.2. Ограждающая конструкция стена на базе термопрофиля 150 мм, второй вариант.

Результаты расчета представлены в таблице 2.18.

Таблица 2.18. Характеристика слоев стены и их сопротивление стены воздухопроницанию

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0 , кг/м ³	Толщина δ , м	Сопротивление воздухопроницанию J^{des} , м ² ·ч·Па/кг
1	Листы гипсовые обшивочные	800	0,025	50
2	Обрешетка + минераловатный утеплитель	113,87	0,045	1,8
3	Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)	930	0,0002	1000
4	Минераловатный утеплитель +металлические стойки	119,4	0,15	6
5	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	0,045	0
6	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	0,01	0
Сумма				1057,8

Проведенный расчет показывает, что требование СНиП 23-02-2003 к конструкции стены по воздухопроницаемости выполнено, т. к. $J^{des} \gg J^{req}$, как для нормативных, так и для максимальных значений скорости ветра.

2.3.1.3. Ограждающая конструкция стена на базе термопрофиля 175 мм, первый вариант.

Результаты расчета представлены в таблице 2.19.

Таблица 2.19. Характеристика слоев стены и их сопротивление стены воздухопроницанию

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0 , кг/м ³	Толщина δ , м	Сопротивление воздухопроницанию J^{des} , м ² ·ч·Па/кг
1	Листы гипсовые обшивочные	800	0,025	50
2	Обрешетка + воздушные промежутки	-	0,045	0
3	Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)	930	0,0002	1000
4	Минераловатный утеплитель +металлические стойки	119,4	0,175	7
5	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	0,045	0
6	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	0,01	0
Сумма				1057

Проведенный расчет показывает, что требование СНиП 23-02-2003 к конструкции стены по воздухопроницаемости выполнено, т. к. $J^{des} \gg J^{req}$, как для нормативных, так и для максимальных значений скорости ветра.

2.3.1.4. Ограждающая конструкция стена на базе термопрофиля 175 мм, второй вариант.

Результаты расчета представлены в таблице 2.20.

Таблица 2.20. Характеристика слоев стены и их сопротивление стены воздухопроницанию

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0 , кг/м ³	Толщина δ , м	Сопротивление воздухопроницанию J^{des} , м ² ·ч·Па/кг
1	Листы гипсовые обшивочные	800	0,025	50
2	Обрешетка + минераловатный утеплитель	113,87	0,045	1,8
3	Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)	930	0,0002	1000
4	Минераловатный утеплитель +металлические стойки	119,4	0,175	7
5	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	0,045	0
6	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	0,01	0
Сумма				1058,8

Проведенный расчет показывает, что требование СНиП 23-02-2003 к конструкции стены по воздухопроницаемости выполнено, т. к. $J^{des} \gg J^{req}$, как для нормативных, так и для максимальных значений скорости ветра.

2.4. Оценка паропроницаемости термопанели.

При проектировании зданий и сооружений следует предусматривать гидроизоляционную защиту внутренней и наружной поверхности стен от воздействия влаги с учетом применяемых материалов, и условий эксплуатации.

2.4.1. Особенности расчета сопротивления паропроницанию ограждающих конструкций.

2.4.1.1. Требуемое сопротивление паропроницанию

Сопротивление паропроницанию Ω_0 (м²·ч·Па/мг) ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) должно быть не менее наибольшего из следующих нормируемых значений:

а) нормируемого сопротивления паропроницанию Ω_{req}^* (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации), определяемого по формуле:

$$\Omega_{req}^* = \frac{(e_{int} - E)\Omega_e}{(E - e_{ext}^{cp})}; \quad (2.29)$$

б) нормируемого сопротивления паропроницанию Ω_{req}^{**} (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха), определяемого по формуле:

$$\Omega_{req}^{**} = \frac{0,0024z_0(e_{int} - E_0)}{\Gamma_{Д,В} ДW_{av} + 3}, \quad (2.30)$$

где e_{int} – упругость водяного пара при расчетной температуре и влажности внутреннего воздуха, определяемая по формуле:

$$e_{int} = (\varphi_{int}/100)E_{int}, \quad (2.31)$$

где E_{int} – упругость насыщенного пара при расчетной температуре t_{int} ;
 φ_{int} – относительная влажность внутреннего воздуха;
 Ω_e – сопротивление паропроницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью возможной

конденсации, определяемое в соответствии с п. 3.2;

e_{ext}^{cp} – средняя за год упругость водяного пара наружного воздуха (ориентировочно можно считать, что e_{ext}^{cp} равна упругости насыщенного пара при средней месячной температуре за годовой период, указанной в СНиП 23-01-2003);

z_0 – продолжительность в сутках периода влагонакопления, принимаемая равной периоду с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха (рассчитывается по данным СНиП 23-01-2003);

E_0 – упругость водяного пара в плоскости возможной конденсации, определяемая при средней температуре t_0 в плоскости возможной конденсации за период z_0 ;

$$\tau_o = t_{int} - (t_{int} - t_o)(R_{si} + R_e) / R_o , \quad (2.32)$$

где t_0 – среднемесячная температура наружного воздуха за период z_0 ; $R_{sj}=1/\alpha_{int}$ – сопротивление теплопередаче внутренней поверхности стены; R_e – термическое сопротивление слоев ограждающей конструкции от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$; R_o – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$;

δ_w – толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, принимаемая равной 2/3 толщины теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции;

γ – плотность теплоизоляционного материала;

ΔW_{av} – предельно допустимое приращение влажности материала (%) в зоне конденсации за период влагонакопления z_0 . Для минераловатных плит $\Delta W_{av}=3\%$, для пенополимеров $\Delta W_{av}=25\%$.

E – упругость водяного пара в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, определяемая по формуле:

$$E = (E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3) / 12 , \quad (2.33)$$

где E_1, E_2, E_3 – упругости водяного пара, принимаемые по температурам в плоскости возможной конденсации t_1, t_2, t_3 , соответственно, в зимний (индекс 1), весенне-осенний (индекс 2) и летний (индекс 3) периоды:

$$\tau_i = t_{int} - (t_{int} - t_i)(R_{si} + R_e) / R_o, \quad i = 1, 2, 3 , \quad (2.34)$$

где t_i – средняя температура наружного воздуха i -го периода, $^\circ C$, определяемая по формуле

$$t_i = \sum_{j=1}^n t_j^{av} / n , \quad (2.35)$$

где t_j^{av} – средняя месячная температура воздуха j -го месяца, $^\circ C$;

n – число месяцев i -го периода;

(При определении парциального давления E_3 для летнего периода температуру в плоскости возможной конденсации во всех случаях следует принимать не ниже средней температуры наружного воздуха летнего периода; парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха e_{int} - не ниже среднего парциального давления водяного пара наружного воздуха за этот период);

z_1, z_2, z_3 – продолжительность в месяцах зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов (к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже минус $5^\circ C$; к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус $5^\circ C$ до плюс $5^\circ C$; к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами воздуха выше плюс $5^\circ C$);

η – коэффициент, определяемый по формуле:

$$\eta = 0,0024(E_0 - e_0^{ext})z_0 / \Omega_e , \quad (2.36)$$

где e_0^{ext} – средняя упругость водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами (ориентировочно можно принять e_0^{ext} равной упругости насыщенного пара при среднемесячной температуре за период с отрицательными среднемесячными температурами

наружного воздуха t_0);

в) Сопротивление паропрооницанию Ω_0 чердачного перекрытия или части вентилируемого покрытия, расположенной между внутренней поверхностью и воздушной прослойкой должно быть не менее нормируемого сопротивления паропрооницанию Ω_{req}^{***} , определяемого по формуле:

$$\Omega_{req}^{***} = 0,0012(e_{int} - e_0^{ext}) , \quad (2.37)$$

2.4.1.2. Определение сопротивления паропрооницанию.

Количество пара P , проникающего через слой материала, толщиной δ , площадью F , за время z определяется по формуле:

$$P = \mu(e_{int} - e_{ext})Fz / \delta , \quad (2.38)$$

где μ – коэффициент паропрооницаемости, мг/(м·ч·Па); $(e_{int} - e_{ext})$ – разность уругостей водяного пара с внутренней и наружной стороны ограждения.

Сопротивление паропрооницанию Ω (Па·ч·м²/ г) однослойной конструкции или отдельного однородного слоя многослойной ограждающей конструкции определяется по формуле:

$$\Omega = \delta / \mu , \quad (2.39)$$

где δ - толщина слоя, м.

Полное сопротивление ограждения потоку диффундирующего через него водяного пара будет равно сумме сопротивлений отдельных слоев и сопротивлений влагообмену поверхностей ограждения:

$$\Omega_o = \Omega_{int} + \Omega_1 + \Omega_2 + \dots + \Omega_n + \Omega_{ext} = \Omega_{en} + \delta_1 / \mu_1 + \delta_2 / \mu_2 + \dots + \delta_n / \mu_n + \Omega_{ext} , \quad (2.40)$$

где $\Omega_1, \Omega_2, \dots$ - сопротивление паропрооницанию отдельных слоев ограждения, n - число всех слоев ограждения; Ω_{int} и Ω_{ext} - сопротивление влагообмену соответственно внутренней и наружной поверхности ограждения.

Для практических расчетов можно принимать $\Omega_{int} = 26,6$, а $\Omega_{ext} = 13,3$ Па·ч·м²/ г.

Сопротивление паропрооницанию воздушных прослоек в ограждающих конструкциях следует принимать равным нулю независимо от расположения и толщины этих прослоек.

2.4.1.3. Расчет распределения парциального давления водяного пара в толще ограждения и определение возможности образования конденсата.

Конденсация водяного пара отсутствует, если температура (τ_i), падая по толщине ограждения, остается выше точки росы (t_i^{poc}) или, что то же самое, парциальное давление водяного пара e_i , также понижающееся в направлении изнутри наружу, не достигает значения уругости насыщенного пара E_i , т.е. выполняются условия:

$$\tau_i > t_i^{poc} \text{ или } e_i < E_i.$$

Температура в пределах каждого однородного слоя изменяется линейно, поэтому достаточно определить температуру на границах слоев по формуле:

$$\tau_i = t_{int} - (t_{int} - t_{ext}) (R_{si} + \sum R_e) / R_o , \quad (2.41)$$

где i – номер слоя, считая от внутренней поверхности ограждающей конструкции; τ_i – температура на внешней границе каждого слоя; t_{ext} – средняя месячная температура наружного воздуха наиболее холодного месяца, определяемая по табл. П.13 приложения; $R_{si} = 1/\alpha_{int}$ – сопротивление теплопередаче внутренней поверхности стены; $\sum R_i$ – сумма термических сопротивлений слоев от внутренней поверхности ограждающей конструкции до внешней границы i -го слоя; R_o – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции.

Вследствие сопротивления материала паропрооницанию уругость водяного пара, по мере его проникания в толщу материала будет понижаться от e_{int} до e_{ext} . При

многослойном ограждении график падения e имеет вид ломаной линии. Значения упругости водяного пара на границах слоев определяют по формуле:

$$e_i = e_{int} - (e_{int} - e_{ext})(\Omega_{int} + \sum \Omega_i) / \Omega_o, \quad (2.42)$$

где e_i – упругость водяного пара на внешней поверхности i -ого слоя; $\sum \Omega_i$ – сумма сопротивлений паропрооницанию i слоев ограждения, считая от его внутренней поверхности.

Парциальное давление водяного пара внутри и снаружи стены определяют по формулам:

$$e_{int} = (\varphi_{int} / 100) E_{int}, \quad (2.43)$$

$$e_{ext} = (\varphi_{ext} / 100) E_{ext}, \quad (2.44)$$

где E_{int} и E_{ext} – значения парциального давления насыщенного водяного пара внутри и снаружи стены при температурах, соответственно, t_{int} и t_{ext} .

Парциальное давление насыщенного пара на границах слоев E_i определяют по значениям τ_i .

Расчет конденсации влаги в ограждении можно сделать графоаналитическим способом. Если график падения упругости водяного пара e по оси x (толщине ограждения) лежит ниже линии максимальной упругости E и не пересекается с ней, то конденсация пара исключена. Если линии e и E пересекаются, то возможна конденсация водяного пара в толще ограждения, в тех местах, где линия e лежит выше линии E . В этом случае можно не вычислять значения e_i , если по оси x откладывать не толщину слоев, а их сопротивления паропрооницанию Ω . Тогда, график изменения $e=f(\Omega)$ будет прямой линией, соединяющей точки e_{int} и e_{ext} , соответствующие упругостям водяного пара на поверхностях ограждения.

2.4.2. Сопротивление паропрооницанию термопанели.

Расчетная температура t_{int} , °С, и относительная влажность внутреннего воздуха φ_{int} , %: для жилых помещений $t_{int} = 20$ °С (согласно ГОСТ 30494), $\varphi_{int} = 55$ % (согласно СНиП 23-02-2003 [2]).

Расчетная зимняя температура t_{ext} , °С, и относительная влажность наружного воздуха φ_{ext} , %, принимаются равными, соответственно, средней месячной температуре и средней относительной влажности наиболее холодного месяца. Для г. Санкт-Петербурга наиболее холодный месяц январь. Согласно СНиП 23-02-2003 таблица 3*, таблица 1*:

$$t_{ext} = -7,8 \text{ °С}; \quad \varphi_{ext} = 86 \text{ \%}.$$

Согласно СНиП 23-02-2003 (п. 9.1, примечание 3) плоскость возможной конденсации в многослойной конструкции совпадает с наружной поверхностью утеплителя.

Сопротивление паропрооницанию Ω_o , м²·ч·Па/мг, ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) должно быть не менее нормируемых сопротивлений паропрооницанию Ω_{req}^* и Ω_{req}^{**} , определяемых по формулам (2.29) и (2.30). Для определения парциального давления насыщенного пара в зависимости от температуры по данным СНиП 23-02-2003 строим два графика $E=f(t)$ отдельно для отрицательных и положительных температур (рис.2.1 и 2.2).

При $t_{int} = 20$ °С, $E_{int} = 2338$ Па.

При $\varphi_{int} = 55$ %, $e_{int} = (55 / 100) \cdot 2338 = 1286$ Па;

Парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации определяем по формуле (2.33):

$$E = (E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3) / 12.$$

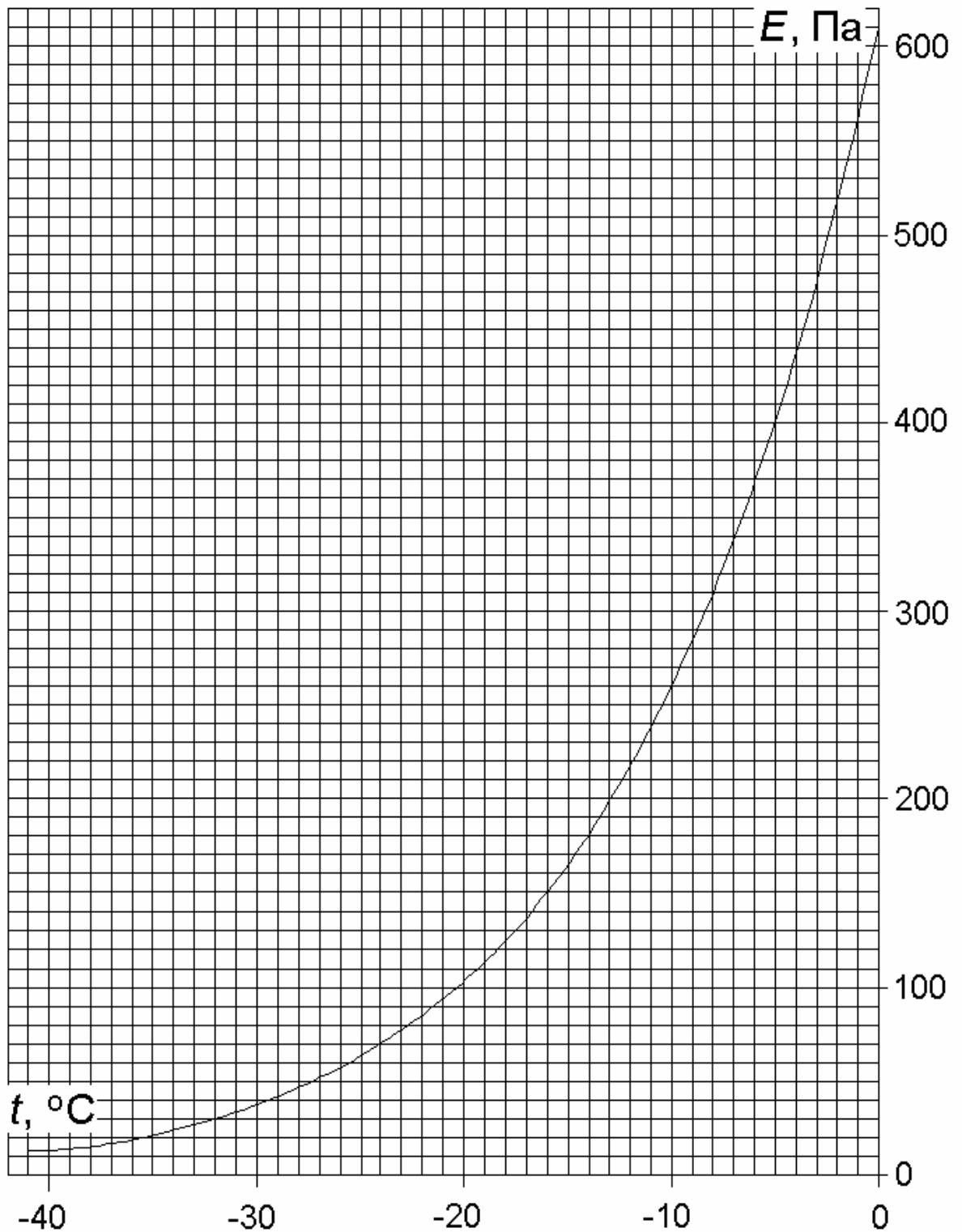


Рис.2.1 Упругость насыщенного пара

Продолжительность зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов (z_1, z_2, z_3) и их средние температуры t_1, t_2, t_3 , определяем по СНиП 23-02-2003, а значения температур в плоскости возможной конденсации τ_1, τ_2, τ_3 , соответствующие этим периодам, по формуле (2.34).

Сопротивление теплопередаче внутренней поверхности стены, равно:

$$R_{sj} = 1/\alpha_{int} = 1/8,7 = 0,115 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{Вт};$$

Термическое сопротивление ограждения в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации:

$$R_e = 0,119 + 0,137 + 2,7 = 2,956 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{Вт}.$$

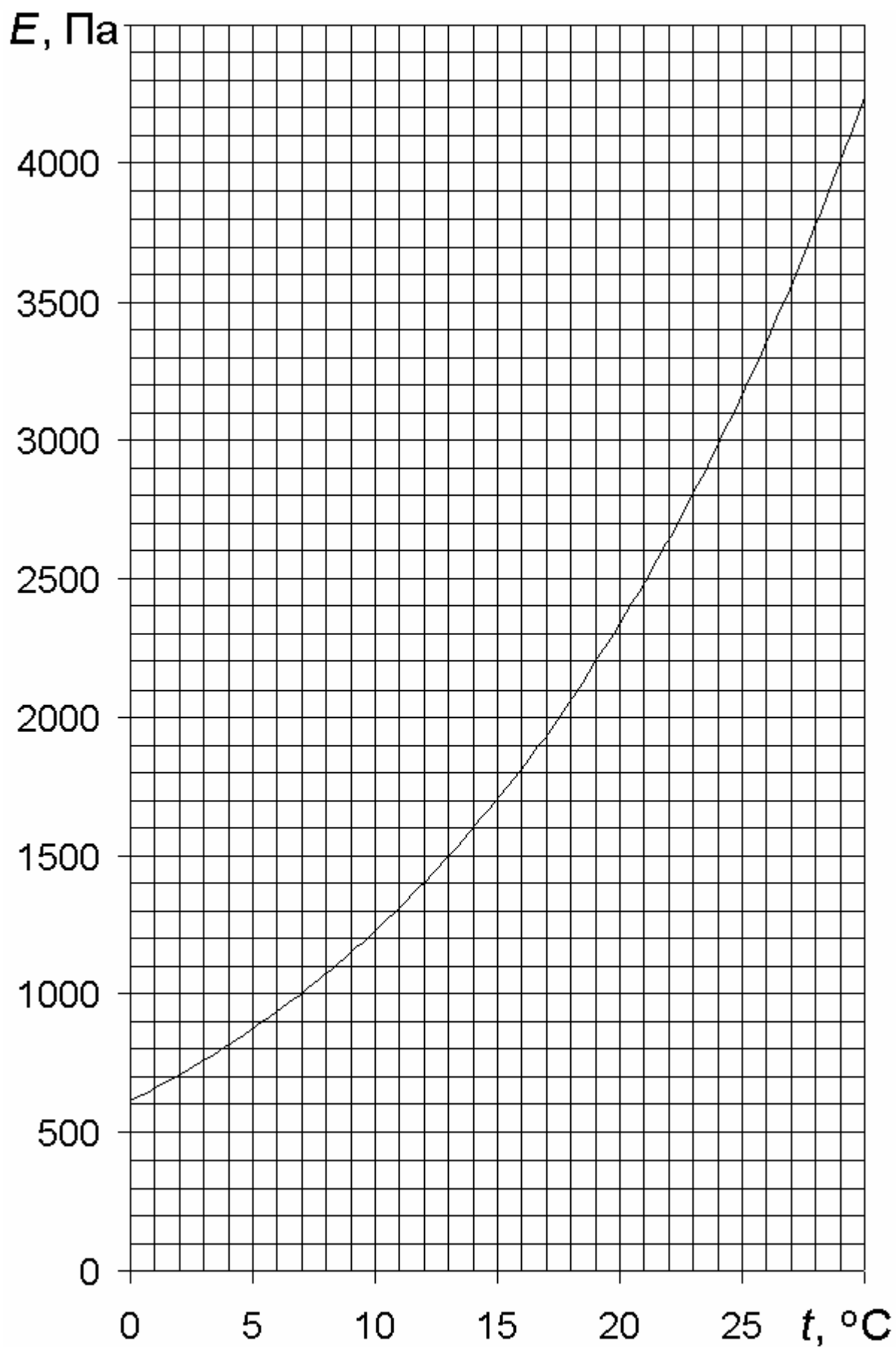


Рис.2.2 Упругость насыщенного пара
Сопротивление стен теплопередаче равно:
 $R_0=3,16 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot \text{Вт}$.

Продолжительность и соответствующие температуры зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов для климатических условий г. Санкт-Петербурга составляют:

1) зимний период (январь, февраль):

$$z_1 = 2 \text{ мес};$$

$$t_1 = [(-7,8) + (-7,8)] / 2 = -7,8 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\tau_1 = 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 2,956) / 3,16 = -7,02 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$E_1 = 338 \text{ Па};$$

2) весенне-осенний период (март, апрель, октябрь, ноябрь, декабрь):

$$z_2 = 5 \text{ мес};$$

$$t_2 = [(-3,9)+3,1 + 4,9 + (-0,3)+ (-5,0)] / 5 = -0,24 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\tau_2 = 20 - (20 - 0,24) (0,115 + 2,956) / 3,16 = 0,33 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$E_2 = 626 \text{ Па};$$

3) летний период (май, июнь, июль, август, сентябрь):

$$z_3 = 5 \text{ мес};$$

$$t_3 = (9,8 + 15 + 17,8 + 16 + 10,9) / 5 = 13,9 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\tau_3 = 20 - (20 - 13,9) (0,115 + 2,956) / 3,16 = 14,07 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$E_3 = 1609 \text{ Па}.$$

Сведем полученные результаты в таблице 2.21.

Таблица 2.21. Результаты расчета температуры в плоскости возможной конденсации

Период	$t_i, \text{ }^\circ\text{C}$	$z, \text{ мес}$	$\tau_i, \text{ }^\circ\text{C}$	$E, \text{ Па}$
зима (январь, февраль)	-7,8	2	-7,02	338
весна — осень (март, апрель, октябрь, ноябрь, декабрь)	-0,24	5	0,33	626
лето (май — сентябрь)	13,9	5	14,07	1609

Парциальное давление водяного пара E в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации ограждающей конструкции составляет:

$$E = (338 \cdot 2 + 626 \cdot 5 + 1609 \cdot 5) / 12 = 988 \text{ Па}.$$

Сопrotивление паропроницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации, равно в нашем случае сопротивлению слоя керамогранитной плитки и определяется по формуле (2.39)

$$\Omega_e = 0,01/0,11 = 0,091 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за годовой период считаем равным парциальному давлению насыщенного пара E_{ext}^{cp} при средней месячной температуре за годовой период, которая в нашем случае составляет 4,4 °C:

$$e_{ext}^{cp} = 836 \text{ Па}.$$

По формуле (2.29) определяем нормируемое сопротивление паропроницанию из условия недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации:

$$\Omega_{req}^* = (1286 - 986) 0,091 / (986 - 836) = 0,182 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

Для расчета нормируемого сопротивления паропроницанию Ω_{req}^{**} из условия ограничения влаги за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха берем продолжительность и среднюю температуру этого периода равными:

$$z_0 = 151 \text{ сут},$$

$$t_0 = -4,96 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температуру τ_0 в плоскости возможной конденсации для периода z_0 определяем по формуле (2.32):

$$\tau_0 = 20 - (20 + 4,96) (0,115 + 2,956) / 3,16 = -4,26 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Парциальное давление водяного пара E_0 в плоскости возможной конденсации определяем по графику на рис. 2.1 при $\tau_0 = -4,26 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$E_0 = 426 \text{ Па}.$$

Среднюю упругость водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами e_0^{ext} принимаем равной упругости насыщенного пара при температуре $t_0 = -4,96 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$e_0^{ext} = 402 \text{ Па}.$$

Коэффициент η определяем по формуле (3.8):

$$\eta = 0,0024 (426 - 402) 151 / 0,091 = 95,58.$$

Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в утеплителе, согласно СНиП 23-02-2003, составляет $\Delta W_{av} = 3 \%$.

Определим Ω_{req}^{**} по формуле (3.2):

$$\Omega_{req}^{**} = 0,0024 \cdot 151 (1286 - 426) / (119,14 \cdot 0,1 \cdot 3 + 95,58) = 2,37 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

2.4.2.1. Ограждающая конструкция стены на базе термопрофиля 150 мм, первый вариант.

Определяем сопротивление слоев стены паропроницанию Ω по формуле (2.79), результаты сводим в таблицу 2.22.

Таблица 2.22. Характеристика слоев стены и общее сопротивление стены паропроницанию

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0 , кг/м ³	Толщина δ , м	Расчетный коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)	Расчетное сопротивление паропроницанию Ω , м ² ·ч·Па/мг
1	Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка) ГОСТ 6266	800	0,025	0,075	0,333
2	Обрешетка + воздушные промежутки	-	0,045	-	0
3	Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)	930	0,0002	0,00002	10
4	Минераловатный утеплитель ВЕНТИ БАТТС+металлические стойки	119,4	0,15	-	0,47
5	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	0,045	-	0
6	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	0,01	0,11	0,091
Сумма			0,275	-	10,894

Приведенное сопротивление неоднородного слоя определим по формуле:

$$\Omega^r = A / \sum (A_i / \Omega_i^r) \quad (2.45)$$

где A_i , Ω_i^r — соответственно площадь i -го участка характерной части ограждающей конструкции, м², и его приведенное сопротивление паропроницанию, м²·°C/Вт.

Для неоднородного слоя 4 получаем:

$$\Omega^r = 3,6 / \left(\frac{0,5985 \cdot 6}{0,15} + \frac{0,0015 \cdot 6}{7,3} \right) = 0,47 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Сопrotивление стены паропрооницанию Ω_o определяем по формуле (2.40) с учетом сопrotивления влагообмену у внутренней и наружной поверхностей:

$$\Omega_o = 26,6 \cdot 10^{-3} + 10,894 + 13,3 \cdot 10^{-3} = 10,93 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

При сравнении полученного значения Ω_o с нормируемыми значениями устанавливаем, что:

$$\Omega_o > \Omega_{req}^{**} > \Omega_{req}^* (10,93 > 2,37 > 0,182).$$

Следовательно, стены удовлетворяют требованиям СНиП 23-02-2003 в отношении сопrotивления паропрооницанию и дополнительной пароизоляции не требуется.

Выполним расчет распределения парциального давления водяного пара по толще стены и определение возможности образования в стене конденсата. Для этого определяем парциальное давление водяного пара внутри и снаружи стены:

$$\begin{aligned} t_{int} &= 20 \text{ °C}; \varphi_{int} = 55 \%; \\ e_{int} &= (55/100)2338 = 1286 \text{ Па}; \\ t_{ext} &= -7,8 \text{ °C}; \varphi_{ext} = 86 \%; \\ e_{ext} &= (86/100)264 = 227 \text{ Па}. \end{aligned}$$

Определяем температуры τ_i на границах слоев по формуле (2.41), нумеруя от внутренней поверхности к наружной, и по этим температурам определяем максимальное парциальное давление водяного пара E_i по графикам зависимости $E=f(t)$ на рис. 2.1 и 2.2.

$$\begin{aligned} \tau_{int} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115) / 3,16 = 19 \text{ °C}; \\ E_{int} &= 2197 \text{ Па}; \\ \tau_{12} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 0,119) / 3,16 = 17,9 \text{ °C}; \\ E_{12} &= 2050 \text{ Па}; \\ \tau_{23} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 0,256) / 3,16 = 16,74 \text{ °C}; \\ E_{23} &= 1901 \text{ Па}; \\ \tau_{34} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 0,256) / 3,16 = 16,74 \text{ °C}; \\ E_{34} &= 1901 \text{ Па}; \\ \tau_{45} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 2,956) / 3,16 = -7 \text{ °C}; \\ E_{45} &= 340 \text{ Па}; \\ \tau_{ext} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 2,956) / 3,16 = -7 \text{ °C}; \\ E_{ext} &= 340 \text{ Па}; \end{aligned}$$

Рассчитаем действительные парциальные давления e_i водяного пара на границах слоев по формуле (2.42) и установим распределение точек росы по толщине ограждения (по координате x). Результаты расчета представлены в таблицу 2.23.

Таблица 2.23. Результаты оценки возможности конденсации пара внутри стен

Граница слоев	$x, \text{ м}$	$\Sigma R_i, (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{В}$	$\tau_i, \text{ °C}$	$E_i, \text{ Па}$	$\Sigma \Omega_i, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$	$e_i, \text{ Па}$	$t_{росы}, \text{ °C}$
int-1	0	0	19	2197	0	1283	10,6
1-2	0,025	0,119	17,9	2050	0,333	1251	10,3
2-3	0,07	0,256	16,7	1901	0,333	1251	10,3
3-4	0,0702	0,256	16,7	1901	10,333	279	-9,2
4-5	0,2202	2,956	-7	337	10,803	233	-11,2
5-ext	0,2752	2,956	-7	337	10,894	224	-11,6

$$\begin{aligned} e_{int-1} &= 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 0) / 10,894 = 1283 \text{ Па}; \\ e_{1-2} &= 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 0,333) / 10,894 = 1251 \text{ Па}; \\ e_{2-3} &= 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 0,333) / 10,894 = 1251 \text{ Па}; \end{aligned}$$

$$e_{3-4} = 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 10,333) / 10,894 = 279 \text{ Па} ;$$

$$e_{4-5} = 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 10,803) / 10,894 = 233 \text{ Па} ;$$

$$e_{5-ext} = 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 10,894) / 10,894 = 224 \text{ Па}$$

При сравнении величин максимального парциального давления E_i водяного пара и величин действительного парциального давления e_i водяного пара на соответствующих границах слоев видим, что все величины e_i ниже величин E_i , что указывает на отсутствие возможности конденсации водяного пара в ограждающей конструкции. Построим график изменения температуры и точки росы по координате x , т.е. по толщине стены (рис. 2.3).

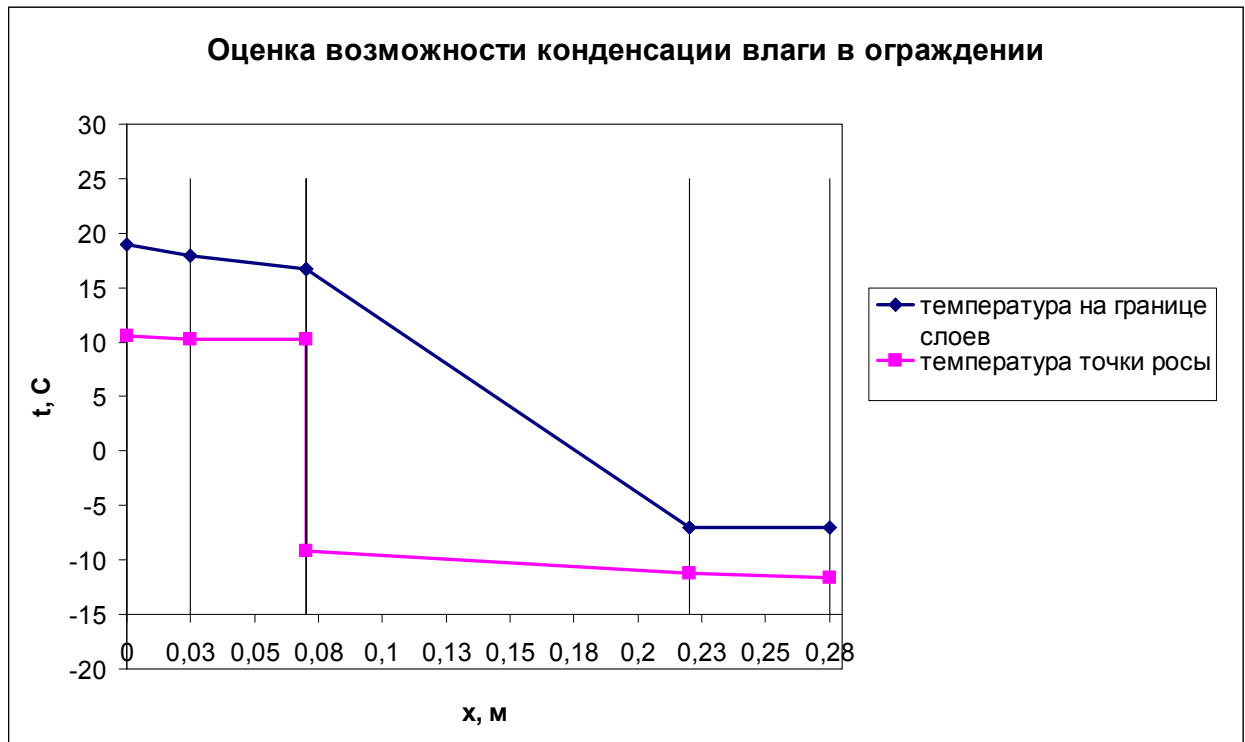


Рисунок 2.3. Оценка возможности конденсации влаги в ограждении

Из рис. 2.3 видно, что значения точек росы, лежат ниже значений температуры по всей толщине стены. Следовательно, при расчетной температуре и влажности наружного воздуха конденсация пара исключена, и пароизоляция не требуется.

Определим температуры на границах слоев и оценим возможность конденсации влаги в ограждении при

$$t_{ext} = -10 \text{ °C}; \varphi_{int} = 86 \text{ \%};$$

$$e_{ext} = (86/100)260 = 223,6 \text{ Па.}$$

Определяем температуры τ_i на границах слоев по формуле (2.41), нумеруя от внутренней поверхности к наружной, и по этим температурам определяем максимальное парциальное давление водяного пара E_i по графикам зависимости $E=f(t)$ на рис. 2.1 и 2.2.

$$\tau_{int} = 20 - (20 + 10) (0,115) / 3,16 = 18,91 \text{ °C};$$

$$E_{int} = 2182 \text{ Па};$$

$$\tau_{12} = 20 - (20 + 10) (0,115 + 0,119) / 3,16 = 17,8 \text{ °C};$$

$$E_{12} = 2037 \text{ Па};$$

$$\tau_{23} = 20 - (20 + 10) (0,115 + 0,256) / 3,16 = 16,5 \text{ °C};$$

$$E_{23} = 1877 \text{ Па};$$

$$\tau_{34} = 20 - (20 + 10) (0,115 + 0,256) / 3,16 = 16,5 \text{ °C};$$

$$E_{34} = 1877 \text{ Па};$$

$$\tau_{45} = 20 - (20 + 10) (0,115 + 2,956) / 3,16 = -9,16 \text{ °C};$$

$$E_{45} = 279 \text{ Па};$$

$$\tau_{ext} = 20 - (20 + 10) (0,115 + 2,956) / 3,16 = -9,16 \text{ °C};$$

$$E_{ext}^c = 279 \text{ Па};$$

Рассчитаем действительные парциальные давления e_i водяного пара на границах слоев по формуле (2.42) и установим распределение точек росы по толщине ограждения (по координате x). Результаты расчета представлены в таблицу 2.24.

Таблица 2.24. Результаты оценки возможности конденсации пара внутри стен

Граница слоев	$x, \text{ м}$	$\frac{\sum R_i}{\tau}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/ В	$\tau_i, \text{ °C}$	$E_i, \text{ Па}$	$\frac{\sum \Omega_i}{\text{мг}}$ $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$	$e_i, \text{ Па}$	$t_{\text{росы}}, \text{ °C}$
int-1	0	0	18,91	2182	0	1283	10,6
1-2	0,025	0,119	17,78	2037	0,333	1251	10,3
2-3	0,07	0,256	16,48	1877	0,333	1251	10,3
3-4	0,0702	0,256	16,48	1877	10,333	276	-9,3
4-5	0,2202	2,956	-9,16	279	10,803	230	-11,4
5-ext	0,2752	2,956	-9,16	279	10,894	221	-11,8

$$e_{\text{int-1}} = 1286 - (1286 - 223,6)(0,0266 + 0) / 10,894 = 1283 \text{ Па} ;$$

$$e_{1-2} = 1286 - (1286 - 223,6)(0,0266 + 0,333) / 10,894 = 1251 \text{ Па} ;$$

$$e_{2-3} = 1286 - (1286 - 223,6)(0,0266 + 0,333) / 10,894 = 1251 \text{ Па} ;$$

$$e_{3-4} = 1286 - (1286 - 223,6)(0,0266 + 10,333) / 10,894 = 276 \text{ Па} ;$$

$$e_{4-5} = 1286 - (1286 - 223,6)(0,0266 + 10,803) / 10,894 = 230 \text{ Па} ;$$

$$e_{5-ext} = 1286 - (1286 - 223,6)(0,0266 + 10,894) / 10,894 = 221 \text{ Па}$$

При сравнении величин максимального парциального давления E_i водяного пара и величин действительного парциального давления e_i водяного пара на соответствующих границах слоев видим, что все величины e_i ниже величин E_i , что указывает на отсутствие возможности конденсации водяного пара в ограждающей конструкции. Построим график изменения температуры и точки росы по координате x , т.е. по толщине стены (рис. 2.4).

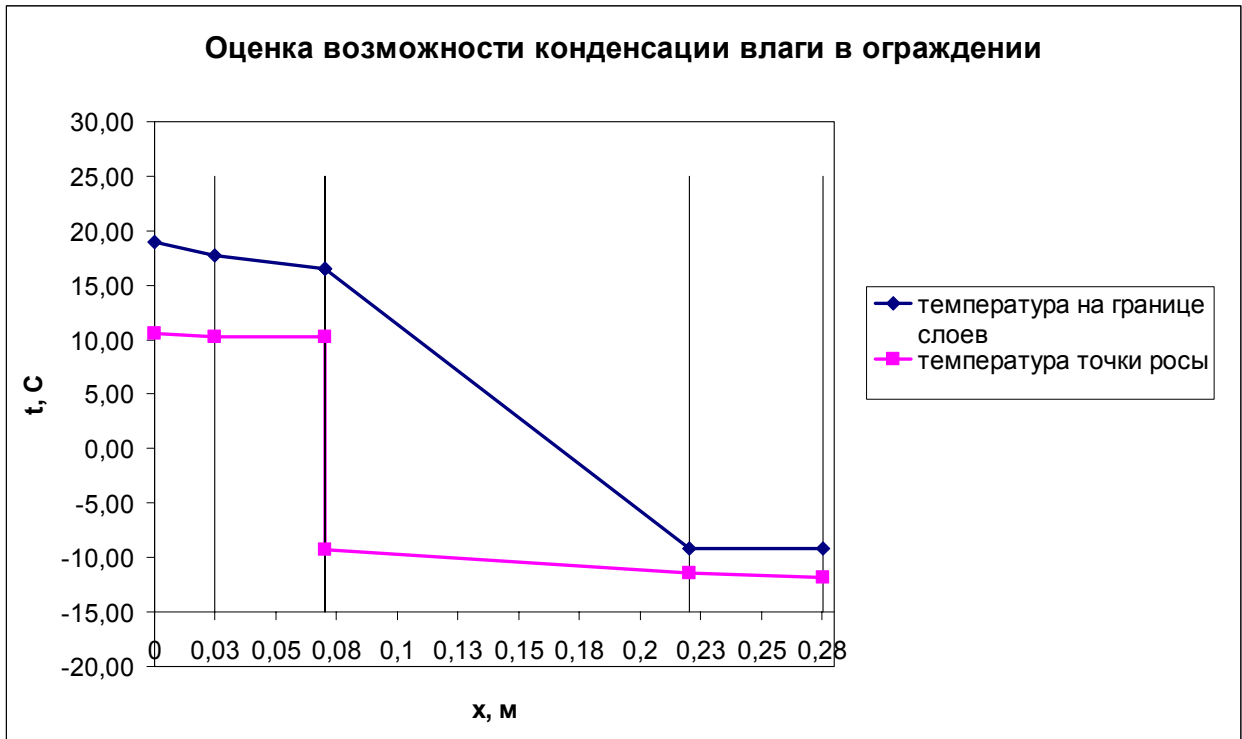


Рисунок 2.4. Оценка возможности конденсации влаги в ограждении

Определим температуры на границах слоев и оценим возможность конденсации

влаги в ограждении при

$$t_{ext}^* = -12 \text{ }^\circ\text{C}; \varphi_{int} = 86 \text{ } \%;$$

$$e_{ext} = (86/100)217 = 186,6 \text{ Па.}$$

Определяем температуры τ_i на границах слоев по формуле (2.41), нумеруя от внутренней поверхности к наружной, и по этим температурам определяем максимальное парциальное давление водяного пара E_i по графикам зависимости $E=f(t)$ на рис. 2.1 и 2.2.

$$\tau_{int} = 20 - (20 + 12) (0,115) / 3,16 = 18,84 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$E_{int}^* = 2169 \text{ Па};$$

$$\tau_{12} = 20 - (20 + 12) (0,115 + 0,119) / 3,16 = 17,63 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$E_{12} = 2011 \text{ Па};$$

$$\tau_{23} = 20 - (20 + 12) (0,115 + 0,256) / 3,16 = 16,24 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$E_{23} = 1841 \text{ Па};$$

$$\tau_{34} = 20 - (20 + 12) (0,115 + 0,256) / 3,16 = 16,24 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$E_{34} = 1841 \text{ Па};$$

$$\tau_{45} = 20 - (20 + 12) (0,115 + 2,956) / 3,16 = -11,1 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$E_{45} = 235 \text{ Па};$$

$$\tau_{ext} = 20 - (20 + 12) (0,115 + 2,956) / 3,16 = -11,1 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$E_{ext}^* = 235 \text{ Па};$$

Рассчитаем действительные парциальные давления e_i водяного пара на границах слоев по формуле (2.42) и установим распределение точек росы по толщине ограждения (по координате x). Результаты расчета представлены в таблицу 2.25.

Таблица 2.25. Результаты оценки возможности конденсации пара внутри стен

Граница слоев	x , м	ΣR_i , ($\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C} / \text{В}$) Т	τ_i , $^\circ\text{C}$	E_i , Па	$\Sigma \Omega_i$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} /$ мг	e_i , Па	$t_{\text{росы}}$, $^\circ\text{C}$
int-1	0	0	18,84	2169	0	1283	10,6
1-2	0,025	0,119	17,63	2011	0,333	1250	10,3
2-3	0,07	0,256	16,24	1841	0,333	1250	10,3
3-4	0,0702	0,256	16,24	1841	10,333	241	-10,8
4-5	0,2202	2,956	-11,10	235	10,803	193	-13,3
5-ext	0,2752	2,956	-11,10	235	10,894	184	-13,8

$$e_{int-1} = 1286 - (1286 - 186,6)(0,0266 + 0) / 10,894 = 1283 \text{ Па};$$

$$e_{1-2} = 1286 - (1286 - 186,6)(0,0266 + 0,333) / 10,894 = 1250 \text{ Па};$$

$$e_{2-3} = 1286 - (1286 - 186,6)(0,0266 + 0,333) / 10,894 = 1250 \text{ Па};$$

$$e_{3-4} = 1286 - (1286 - 186,6)(0,0266 + 10,333) / 10,894 = 241 \text{ Па};$$

$$e_{4-5} = 1286 - (1286 - 186,6)(0,0266 + 10,803) / 10,894 = 193 \text{ Па};$$

$$e_{5-ext} = 1286 - (1286 - 186,6)(0,0266 + 10,894) / 10,894 = 184 \text{ Па}$$

При сравнении величин максимального парциального давления E_i водяного пара и величин действительного парциального давления e_i водяного пара на соответствующих границах слоев видим, что все величины e_i ниже величин E_i , что указывает на отсутствие возможности конденсации водяного пара в ограждающей конструкции. Построим график изменения температуры и точки росы по координате x , т.е. по толщине стены (рис. 2.5).

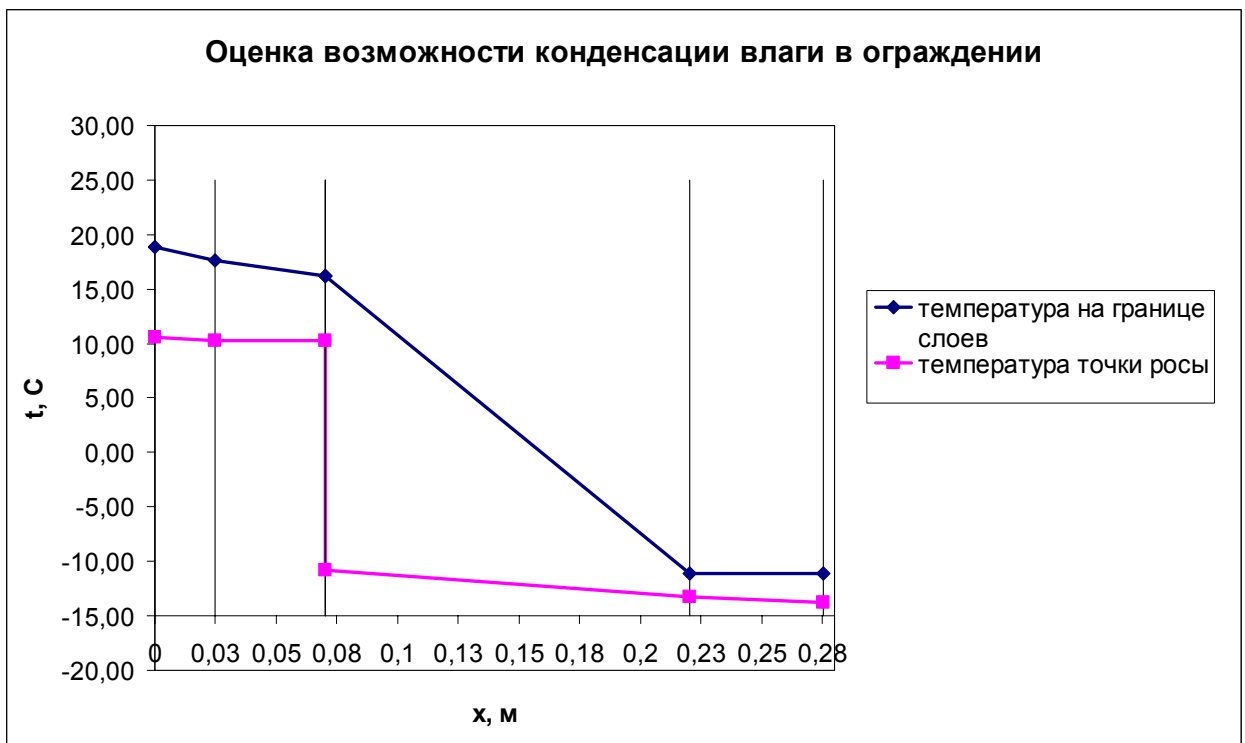


Рисунок 2.5. Оценка возможности конденсации влаги в ограждении

Определим температуры на границах слоев и оценим возможность конденсации влаги в ограждении при

$$t_{ext} = -20 \text{ } ^\circ\text{C}; \varphi_{int} = 86 \text{ } \%;$$

$$e_{ext} = (86/100)103 = 88,58 \text{ Па.}$$

Определяем температуры τ_i на границах слоев по формуле (2.41), нумеруя от внутренней поверхности к наружной, и по этим температурам определяем максимальное парциальное давление водяного пара E_i по графикам зависимости $E=f(t)$ на рис. 2.1 и 2.2.

$$\tau_{int} = 20 - (20 + 20) (0,115) / 3,16 = 18,54 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$E_{int} = 2134 \text{ Па};$$

$$\tau_{12} = 20 - (20 + 20) (0,115 + 0,119) / 3,16 = 17,04 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$E_{12} = 1937 \text{ Па};$$

$$\tau_{23} = 20 - (20 + 20) (0,115 + 0,256) / 3,16 = 15,3 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$E_{23} = 1738 \text{ Па};$$

$$\tau_{34} = 20 - (20 + 20) (0,115 + 0,256) / 3,16 = 15,3 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$E_{34} = 1738 \text{ Па};$$

$$\tau_{45} = 20 - (20 + 20) (0,115 + 2,956) / 3,16 = -18,87 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$E_{45} = 114 \text{ Па};$$

$$\tau_{ext} = 20 - (20 + 20) (0,115 + 2,956) / 3,16 = -18,87 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$E_{ext} = 114 \text{ Па};$$

Рассчитаем действительные парциальные давления e_i водяного пара на границах слоев по формуле (2.42) и установим распределение точек росы по толщине ограждения (по координате x). Результаты расчета представлены в таблицу 2.26.

Таблица 2.26. Результаты оценки возможности конденсации пара внутри стен

Граница слоев	x , м	$\frac{\sum R_i}{T}$ ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{В}$)	τ_i , $^\circ\text{C}$	E_i , Па	$\frac{\sum \Omega_i}{\text{мг}}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$)	e_i , Па	$t_{\text{росы}}$, $^\circ\text{C}$
int-1	0	0	18,54	2134	0	1283	10,7
1-2	0,025	0,19	17,04	1937	0,333	1246	10,2
2-3	0,07	0,256	15,30	1738	0,333	1246	10,2
3-4	0,0702	0,256	15,30	1738	10,333	147	-16,3

4-5	0,2202	2,956	-18,87	114	10,803	96	-20,7
5-ext	0,2752	2,956	-18,87	114	10,894	86	-22

$$e_{int-1} = 1286 - (1286 - 88,58)(0,0266 + 0)/10,894 = 1283 \text{ Па} ;$$

$$e_{1-2} = 1286 - (1286 - 88,58)(0,0266 + 0,333)/10,894 = 1246 \text{ Па} ;$$

$$e_{2-3} = 1286 - (1286 - 88,58)(0,0266 + 0,333)/10,894 = 1246 \text{ Па} ;$$

$$e_{3-4} = 1286 - (1286 - 88,58)(0,0266 + 10,333)/10,894 = 147 \text{ Па} ;$$

$$e_{4-5} = 1286 - (1286 - 88,58)(0,0266 + 10,803)/10,894 = 96 \text{ Па} ;$$

$$e_{5-ext} = 1286 - (1286 - 88,58)(0,0266 + 10,894)/10,894 = 86 \text{ Па}$$

При сравнении величин максимального парциального давления E_i водяного пара и величин действительного парциального давления e_i водяного пара на соответствующих границах слоев видим, что все величины e_i ниже величин E_i , что указывает на отсутствие возможности конденсации водяного пара в ограждающей конструкции. Построим график изменения температуры и точки росы по координате x , т.е. по толщине стены (рис. 2.6).

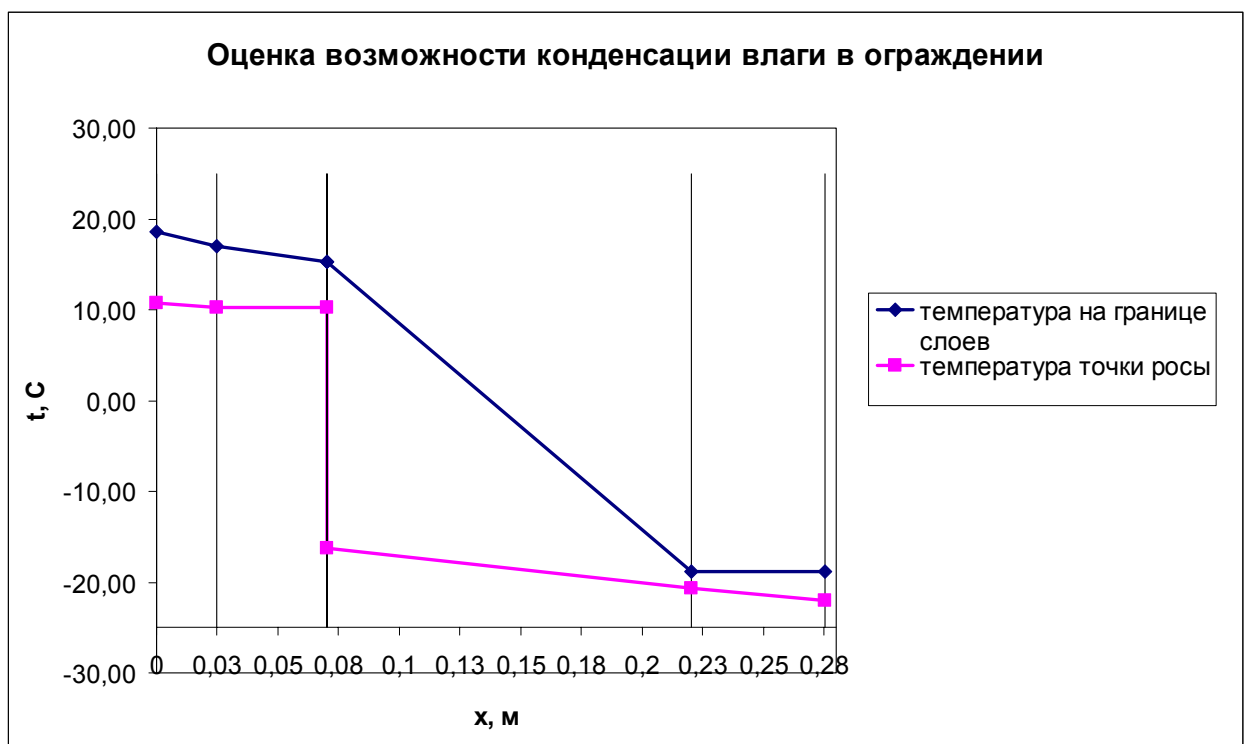


Рисунок 2.6. Оценка возможности конденсации влаги в ограждении

Определим температуры на границах слоев и оценим возможность конденсации влаги в ограждении при

$$t_{ext} = +20,5 \text{ } ^\circ\text{C}; \varphi_{int} = 72 \text{ } \%;$$

$$e_{ext} = (86/100)2338 = 1683,36 \text{ Па.}$$

Результаты расчета представлены в таблицу 2.27, оценка влажностного режима показана на рисунке 2.7.

Таблица 2.27. Результаты оценки возможности конденсации пара внутри стен

Граница слоев	$x, \text{ м}$	$\Sigma R_i, (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{В}$	$\tau_i, ^\circ\text{C}$	$E_i, \text{ Па}$	$\Sigma \Omega_i, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$	$e_i, \text{ Па}$	$t_{\text{росы}}, ^\circ\text{C}$
int-1	0	0	20,02	1683	0	1287	10,7
1-2	0,025	0,119	20,04	1683	0,333	1299	10,8
2-3	0,07	0,256	20,06	2351	0,333	1299	10,8

3-4	0,0702	0,256	20,06	2351	10,333	1664	14,6
4-5	0,2202	2,956	20,49	2411	10,803	1681	14,8
5-ext	0,2752	2,956	20,49	2411	10,894	1684	14,8

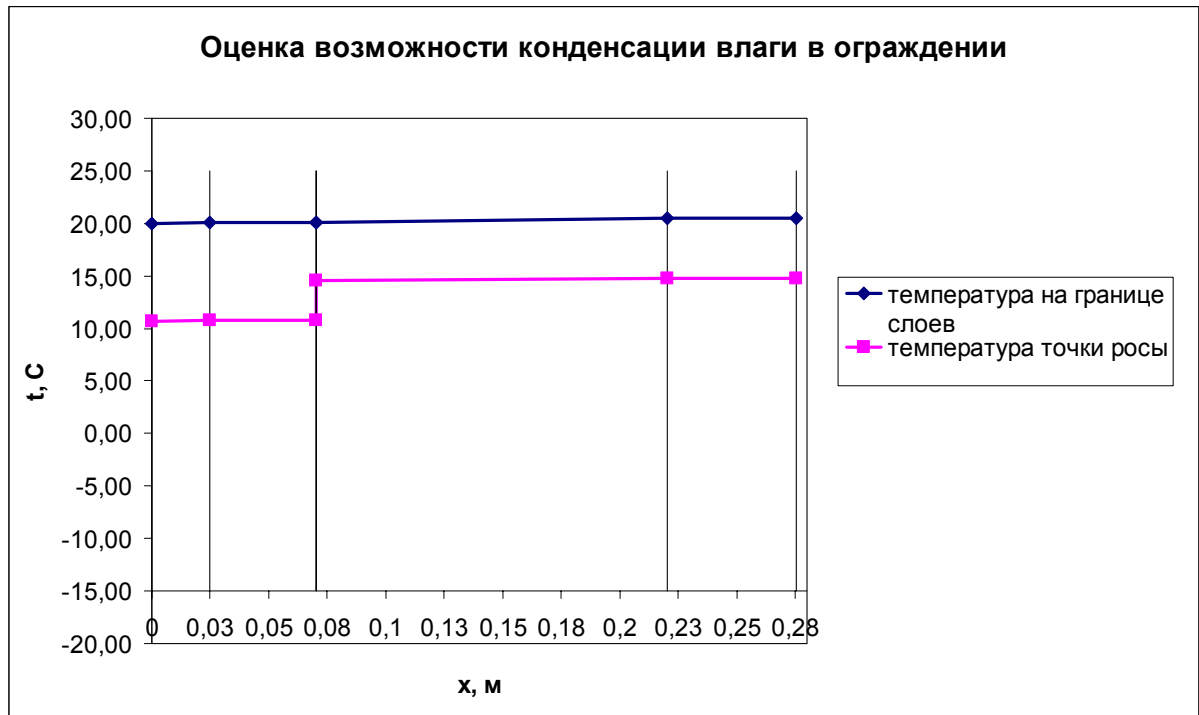


Рисунок 2.7. Оценка возможности конденсации влаги в ограждении

2.4.2.2. Ограждающая конструкция стены на базе термопрофиля 150 мм, второй вариант.

Определяем сопротивление слоев стены паропроонианию Ω по формуле (2.39), результаты сводим в таблицу 2.28.

Таблица.2.28. Характеристика слоев стены и общее сопротивление стены паропроонианию

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0 , кг/м ³	Толщина δ , м	Расчетный коэффициент паропроониания μ , мг/(м·ч·Па)	Расчетное сопротивление паропроонианию Ω , м ² ·ч·Па/мг
1	Листы гипсовые обшивочные	800	0,025	0,075	0,333
2	Обрешетка + минераловатный утеплитель	113,87	0,045	-	0,14
3	Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)	930	0,0002	0,00002	10
4	Минераловатный утеплитель + металлические стойки	119,4	0,15	-	0,47
5	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	0,045	-	0
6	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	0,01	0,11	0,091
Сумма			0,275	-	11,034

Приведенное сопротивление неоднородного слоя определим по формуле (2.45).

Для неоднородного слоя 2 получаем:

$$\Omega' = 3,6 / \left(\frac{3,591}{0,045} + \frac{0,0045 \cdot 0,6 \cdot 5}{7,3} \right) = 0,14 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Для неоднородного слоя 4 получаем:

$$\Omega' = 3,6 / \left(\frac{0,5985 \cdot 6}{0,15} + \frac{0,0015 \cdot 6}{7,3} \right) = 0,47 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Сопrotивление стены паропрооницанию Ω_o определяем по формуле (2.40) с учетом сопrotивления влагообмену у внутренней и наружной поверхностей:

$$\Omega_o = 26,6 \cdot 10^{-3} + 11,034 + 13,3 \cdot 10^{-3} = 11,074 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

При сравнении полученного значения Ω_o с нормируемыми значениями устанавливаем, что:

$$\Omega_o > \Omega_{req}^{**} > \Omega_{req}^* \quad (11,074 > 2,37 > 0,182).$$

Следовательно, стены удовлетворяют требованиям СНиП 23-02-2003 в отношении сопrotивления паропрооницанию и дополнительной пароизоляции не требуется.

Выполним расчет распределения парциального давления водяного пара по толще стены и определение возможности образования в стене конденсата. Для этого определяем парциальное давление водяного пара внутри и снаружи стены:

$$\begin{aligned} t_{int} &= 20 \text{ °C}; \varphi_{int} = 55 \%; \\ e_{int} &= (55/100)2338 = 1286 \text{ Па}; \\ t_{ext} &= -7,8 \text{ °C}; \varphi_{ext} = 86 \%; \\ e_{ext} &= (86/100)264 = 227 \text{ Па}. \end{aligned}$$

Определяем температуры τ_i на границах слоев по формуле (2.41), нумеруя от внутренней поверхности к наружной, и по этим температурам определяем максимальное парциальное давление водяного пара E_i по графикам зависимости $E=f(t)$ на рис. 2.1 и 2.2.

$$\begin{aligned} \tau_{int} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115) / 3,88 = 19,2 \text{ °C}; \\ E_{int} &= 2225 \text{ Па}; \\ \tau_{12} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 0,119) / 3,88 = 18,3 \text{ °C}; \\ E_{12} &= 2055 \text{ Па}; \\ \tau_{23} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 0,968) / 3,88 = 12,24 \text{ °C}; \\ E_{23} &= 1410 \text{ Па}; \\ \tau_{34} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 0,968) / 3,88 = 12,24 \text{ °C}; \\ E_{34} &= 1410 \text{ Па}; \\ \tau_{45} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 3,668) / 3,88 = -7,1 \text{ °C}; \\ E_{45} &= 340 \text{ Па}; \\ \tau_{ext} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 3,668) / 3,88 = -7,1 \text{ °C}; \\ E_{ext} &= 340 \text{ Па}; \end{aligned}$$

Рассчитаем действительные парциальные давления e_i водяного пара на границах слоев по формуле (2.42) и установим распределение точек росы по толщине ограждения (по координате x). Результаты расчета представлены в таблице 2.29.

Таблица 2.29. Результаты оценки возможности конденсации пара внутри стен

Граница слоев	x , м	ΣR_i , ($\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{В}$) Т	τ_i , °C	E_i , Па	$\Sigma \Omega_i$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} /$ мг	e_i , Па	$t_{\text{росы}}$, °C
<i>int-1</i>	0	0	19,2	2225	0	1283	10,7
1-2	0,025	0,119	18,3	2055	0,333	1252	10,3
2-3	0,07	0,968	12,24	1410	0,473	1238	10,2
3-4	0,0702	0,968	12,24	1410	10,473	278	-9,2
4-5	0,2202	3,668	-7,1	340	10,943	233	-11,2
5- <i>ext</i>	0,2752	3,668	-7,1	340	11,034	224	-11,6

$$e_{int-1} = 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 0) / 11,034 = 1283 \text{ Па} ;$$

$$e_{1-2} = 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 0,333)/11,034 = 1252 \text{ Па} ;$$

$$e_{2-3} = 1286 - (1286 - 2727)(0,0266 + 0,473)/11,034 = 1238 \text{ Па} ;$$

$$e_{3-4} = 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 10,473)/11,034 = 278 \text{ Па} ;$$

$$e_{4-5} = 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 10,943)/11,034 = 233 \text{ Па} ;$$

$$e_{5-ext} = 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 11,034)/11,034 = 224 \text{ Па}$$

При сравнении величин максимального парциального давления E_i водяного пара и величин действительного парциального давления e_i водяного пара на соответствующих границах слоев видим, что все величины e_i ниже величин E_i , что указывает на отсутствие возможности конденсации водяного пара в ограждающей конструкции. Построим график изменения температуры и точки росы по координате x , т.е. по толщине стены (рис. 2.8).

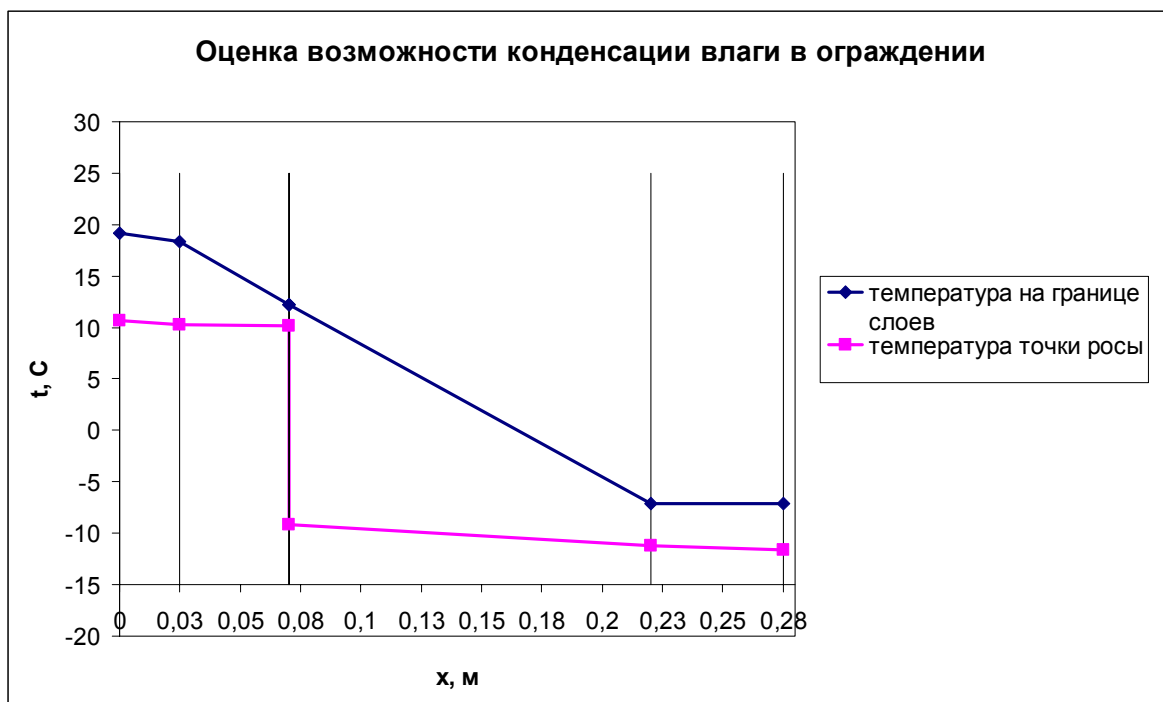


Рисунок 2.8. Оценка возможности конденсации влаги в ограждении

Из рис. 2.8 видно, что значения точек росы, лежат ниже значений температуры по всей толщине стены. Следовательно, при расчетной температуре и влажности наружного воздуха конденсация пара исключена и пароизоляции не требуется.

2.4.2.3. Ограждающая конструкция стена на базе термопрофиля 175 мм, первый вариант.

Определяем сопротивление слоев стены паропрооницанию Ω по формуле (2.39), результаты сводим в таблицу 2.30.

Таблица 2.30. Характеристика слоев стены и общее сопротивление стены паропрооницанию

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0 , кг/м ³	Толщина δ , м	Расчетный коэффициент паропрооницаемости μ , мг/(м·ч·Па)	Расчетное сопротивление паропрооницанию Ω , м ² ·ч·Па/мг
1	Листы гипсовые обшивочные	800	0,025	0,075	0,333
2	Обрешетка + воздушные промежутки	-	0,045	-	0
3	Пароизоляция (п/э пленка в 1	930	0,0002	0,00002	10

	слой)				
4	Минераловатный утеплитель +металлические стойки	119,4	0,175	-	0,55
5	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	0,045	-	0
6	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	0,01	0,11	0,091
Сумма			0,3	-	10,974

Приведенное сопротивление неоднородного слоя определим по формуле (2.45)

Для неоднородного слоя 4 получаем:

$$\Omega^r = 3,6 / \left(\frac{0,5985 \cdot 6}{0,175} + \frac{0,0015 \cdot 6}{7,3} \right) = 0,55 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Сопротивление стены паропрооницанию Ω_o определяем по формуле (2.40) с учетом сопротивления влагообмену у внутренней и наружной поверхностей:

$$\Omega_o = 26,6 \cdot 10^{-3} + 10,974 + 13,3 \cdot 10^{-3} = 11,0139 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

При сравнении полученного значения Ω_o с нормируемыми значениями устанавливаем, что:

$$\Omega_o > \Omega_{req}^{**} > \Omega_{req}^* \quad (11,0139 > 2,37 > 0,182).$$

Следовательно, стены удовлетворяют требованиям СНиП 23-02-2003 в отношении сопротивления паропрооницанию и дополнительной пароизоляции не требуется.

Выполним расчет распределения парциального давления водяного пара по толще стены и определение возможности образования в стене конденсата. Для этого определяем парциальное давление водяного пара внутри и снаружи стены:

$$\begin{aligned} t_{int} &= 20 \text{ °C}; \varphi_{int} = 55 \%; \\ e_{int} &= (55/100)2338 = 1286 \text{ Па}; \\ t_{ext} &= -7,8 \text{ °C}; \varphi_{int} = 86 \%; \\ e_{ext} &= (86/100)264 = 227 \text{ Па}. \end{aligned}$$

Определяем температуры τ_i на границах слоев по формуле (2.41), нумеруя от внутренней поверхности к наружной, и по этим температурам определяем максимальное парциальное давление водяного пара E_i по графикам зависимости $E=f(t)$ на рис. 2.1 и 2.2.

$$\begin{aligned} \tau_{int} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115) / 3,53 = 19,1 \text{ °C}; \\ E_{int}^r &= 2197 \text{ Па}; \\ \tau_{12} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 0,119) / 3,53 = 18,2 \text{ °C}; \\ E_{12} &= 2060 \text{ Па}; \\ \tau_{23} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 0,256) / 3,53 = 17,08 \text{ °C}; \\ E_{23} &= 1910 \text{ Па}; \\ \tau_{34} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 0,256) / 3,53 = 17,08 \text{ °C}; \\ E_{34} &= 1910 \text{ Па}; \\ \tau_{45} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 3,316) / 3,53 = -7 \text{ °C}; \\ E_{45} &= 340 \text{ Па}; \\ \tau_{ext} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 3,316) / 3,53 = -7 \text{ °C}; \\ E_{ext}^r &= 340 \text{ Па}; \end{aligned}$$

Рассчитаем действительные парциальные давления e_i водяного пара на границах слоев по формуле (2.42) и установим распределение точек росы по толщине ограждения (по координате x). Результаты расчета представлены в таблице 2.31.

Таблица 2.31. Результаты оценки возможности конденсации пара внутри стен

Граница слоев	$x, \text{ м}$	$\frac{\sum R_i}{\tau}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{В}$)	$\tau_i, \text{ °C}$	$E_i, \text{ Па}$	$\frac{\sum \Omega_i}{\text{мг}}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$)	$e_i, \text{ Па}$	$t_{\text{росы}}, \text{ °C}$
<i>int-1</i>	0	0	19,1	2197	0	1283	10,7
1-2	0,025	0,119	18,2	2060	0,333	1251	10,3
2-3	0,07	0,256	17,08	1910	0,333	1251	10,2
3-4	0,0702	0,256	17,08	1910	10,333	286	-9,6
4-5	0,2452	3,316	-7	340	10,883	233	-11,2
5-ext	0,3002	3,316	-7	340	10,974	224	-11,6

$$e_{\text{int-1}} = 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 0) / 10,974 = 1283 \text{ Па} ;$$

$$e_{1-2} = 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 0,333) / 10,974 = 1251 \text{ Па} ;$$

$$e_{2-3} = 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 0,333) / 10,974 = 1251 \text{ Па} ;$$

$$e_{3-4} = 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 10,333) / 10,974 = 286 \text{ Па} ;$$

$$e_{4-5} = 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 10,883) / 10,974 = 233 \text{ Па} ;$$

$$e_{5-\text{ext}} = 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 10,974) / 10,974 = 224 \text{ Па} .$$

При сравнении величин максимального парциального давления E_i водяного пара и величин действительного парциального давления e_i водяного пара на соответствующих границах слоев видим, что все величины e_i ниже величин E_i , что указывает на отсутствие возможности конденсации водяного пара в ограждающей конструкции. Построим график изменения температуры и точки росы по координате x , т.е. по толщине стены (рис. 2.9).

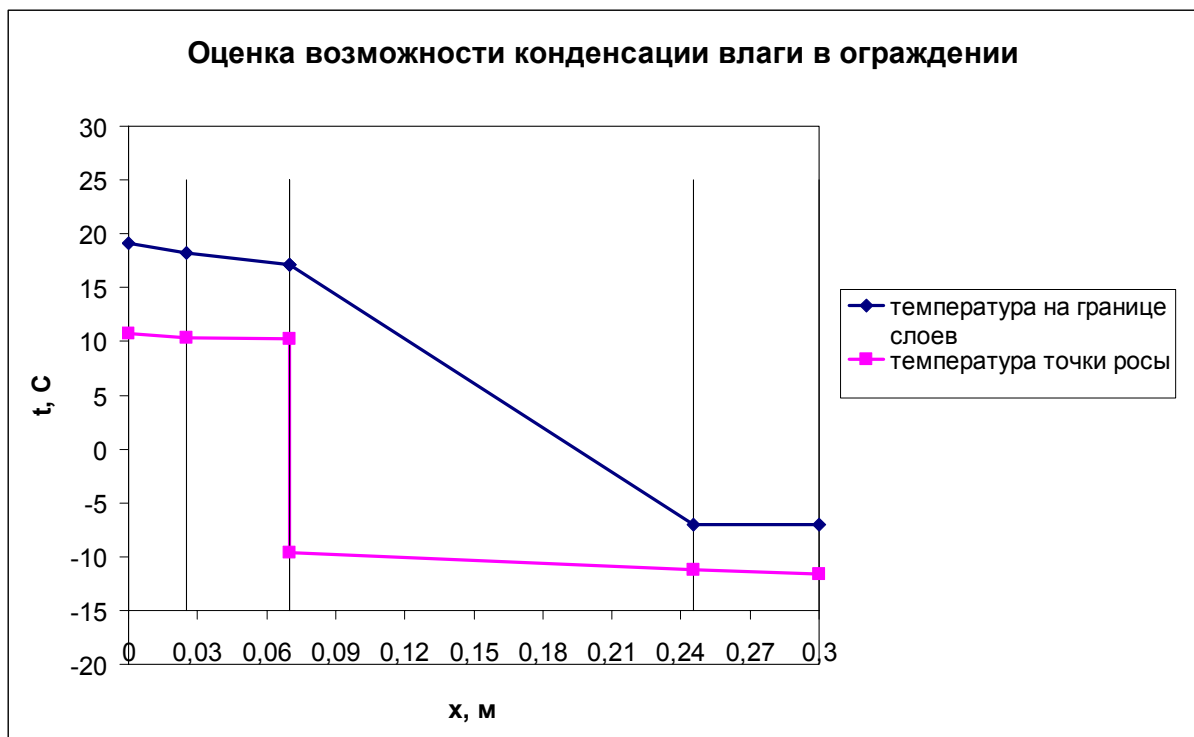


Рисунок 2.9. Оценка возможности конденсации влаги в ограждении

Из рис. 2.9 видно, что значения точек росы, лежат ниже значений температуры по всей толщине стены. Следовательно, при расчетной температуре и влажности наружного воздуха конденсация пара исключена, и пароизоляция не требуется.

2.4.2.4. Ограждающая конструкция стены на базе термопрофиля 175 мм, второй вариант.

Определяем сопротивление слоев стены паропроницанию Ω по формуле (2.39), результаты сводим в таблицу 2.32.

Таблица 2.32. Характеристика слоев стены и общее сопротивление стены паропрооницанию

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0 , кг/м ³	Толщина δ , м	Расчетный коэффициент паропрооницаемости μ , мг/(м·ч·Па)	Расчетное сопротивление паропрооницанию Ω , м ² ·ч·Па/мг
1	Листы гипсовые обшивочные	800	0,025	0,075	0,333
2	Обрешетка + минераловатный утеплитель	113,87	0,045	-	0,14
3	Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)	930	0,0002	0,00002	10
4	Минераловатный утеплитель +металлические стойки	119,4	0,175	-	0,55
5	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	0,045	-	0
6	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	0,01	0,11	0,091
Сумма			0,3	-	11,114

Приведенное сопротивление неоднородного слоя определим по формуле (2.45).

Для неоднородного слоя 2 получаем:

$$\Omega^r = 3,6 / \left(\frac{3,591}{0,045} + \frac{0,0045 \cdot 0,6 \cdot 5}{7,3} \right) = 0,14 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Для неоднородного слоя 4 получаем:

$$\Omega^r = 3,6 / \left(\frac{0,5985 \cdot 6}{0,175} + \frac{0,0015 \cdot 6}{7,3} \right) = 0,55 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Сопротивление стены паропрооницанию Ω_0 определяем по формуле (2.40) с учетом сопротивления влагообмену у внутренней и наружной поверхностей:

$$\Omega_0 = 26,6 \cdot 10^{-3} + 11,114 + 13,3 \cdot 10^{-3} = 11,154 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

При сравнении полученного значения Ω_0 с нормируемыми значениями устанавливаем, что:

$$\Omega_0 > \Omega_{req}^{**} > \Omega_{req}^* \quad (11,074 > 2,37 > 0,182).$$

Следовательно, стены удовлетворяют требованиям СНиП 23-02-2003 в отношении сопротивления паропрооницанию и дополнительной пароизоляции не требуется.

Выполним расчет распределения парциального давления водяного пара по толще стены и определение возможности образования в стене конденсата. Для этого определяем парциальное давление водяного пара внутри и снаружи стены:

$$\begin{aligned} t_{int} &= 20 \text{ °C}; \varphi_{int} = 55 \%; \\ e_{int} &= (55/100)2338 = 1286 \text{ Па}; \\ t_{ext} &= -7,8 \text{ °C}; \varphi_{int} = 86 \%; \\ e_{ext} &= (86/100)264 = 227 \text{ Па}. \end{aligned}$$

Определяем температуры τ_i на границах слоев по формуле (2.41), нумеруя от внутренней поверхности к наружной, и по этим температурам определяем максимальное парциальное давление водяного пара E_i по графикам зависимости $E=f(t)$ на рис. 2.1 и 2.2.

$$\begin{aligned} \tau_{int} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115) / 4,32 = 19,3 \text{ °C}; \\ E_{int} &= 2225 \text{ Па}; \\ \tau_{12} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 0,119) / 4,32 = 18,5 \text{ °C}; \\ E_{12} &= 2110 \text{ Па}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{23} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 0,968) / 4,32 = 13 \text{ }^\circ\text{C}; \\ E_{23} &= 1500 \text{ Па}; \\ \tau_{34} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 0,968) / 4,32 = 13 \text{ }^\circ\text{C}; \\ E_{34} &= 1500 \text{ Па}; \\ \tau_{45} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 4,028) / 4,32 = -6,7 \text{ }^\circ\text{C}; \\ E_{45} &= 365 \text{ Па}; \\ \tau_{ext} &= 20 - (20 + 7,8) (0,115 + 4,028) / 4,32 = -6,7 \text{ }^\circ\text{C}; \\ E_{ext} &= 365 \text{ Па}; \end{aligned}$$

Рассчитаем действительные парциальные давления e_i водяного пара на границах слоев по формуле (2.42) и установим распределение точек росы по толщине ограждения (по координате x). Результаты расчета представлены в таблице 2.33.

Таблица 2.33. Результаты оценки возможности конденсации пара внутри стен

Граница слоев	$x, \text{ м}$	$\frac{\sum R_i}{\tau}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C} / \text{В}$)	$\tau_i, \text{ }^\circ\text{C}$	$E_i, \text{ Па}$	$\frac{\sum \Omega_i}{\text{мг}}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$)	$e_i, \text{ Па}$	$t_{\text{росы}}, \text{ }^\circ\text{C}$
<i>int-1</i>	0	0	19,3	2225	0	1283	10,7
1-2	0,025	0,119	18,5	2110	0,333	1252	10,3
2-3	0,07	0,968	13	1500	0,473	1238	10,1
3-4	0,0702	0,968	13	1500	10,473	286	-8,9
4-5	0,2452	4,028	-6,7	365	11,023	233	-11,2
5-ext	0,3002	4,028	-6,7	365	11,114	225	-11,6

$$\begin{aligned} e_{int-1} &= 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 0) / 11,114 = 1283 \text{ Па} ; \\ e_{1-2} &= 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 0,333) / 11,114 = 1252 \text{ Па} ; \\ e_{2-3} &= 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 0,473) / 11,114 = 1238 \text{ Па} ; \\ e_{3-4} &= 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 10,473) / 11,114 = 286 \text{ Па} ; \\ e_{4-5} &= 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 11,023) / 11,114 = 233 \text{ Па} ; \\ e_{5-ext} &= 1286 - (1286 - 227)(0,0266 + 11,114) / 11,114 = 225 \text{ Па} \end{aligned}$$

При сравнении величин максимального парциального давления E_i водяного пара и величин действительного парциального давления e_i водяного пара на соответствующих границах слоев видим, что все величины e_i ниже величин E_i , что указывает на отсутствие возможности конденсации водяного пара в ограждающей конструкции. Построим график изменения температуры и точки росы по координате x , т.е. по толщине стены (рис. 2.10).

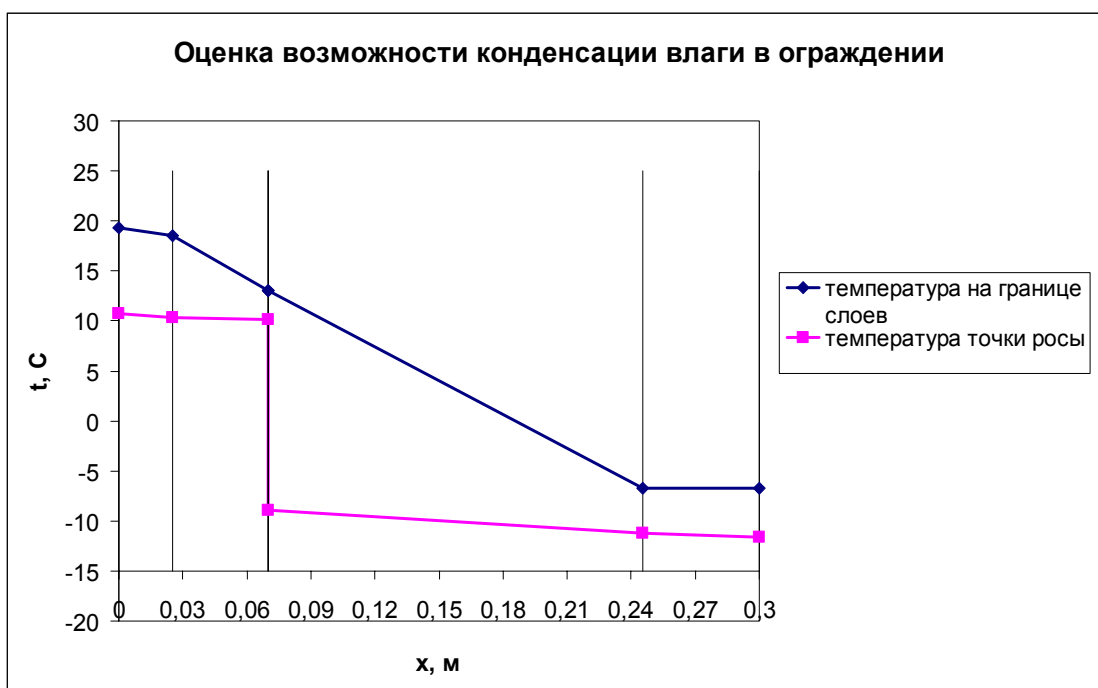


Рисунок 2.10. Оценка возможности конденсации влаги в ограждении

Из рис. 2.10 видно, что значения точек росы, лежат ниже значений температуры по всей толщине стены. Следовательно, при расчетной температуре и влажности наружного воздуха конденсация пара исключена и пароизоляции не требуется.

Литература

1. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. М.: Госстрой России, 2000, -57с.
2. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий. М.: Госстрой России, 2003 г.
3. СНиП 2.08-01 – 89* Жилые здания М.:Госстрой России
4. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Межгосударственный стандарт. 1999, - 14 с.
5. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»
6. Жмарин Е.Н. Технология будущего - строительство облегчённых зданий и сооружений с применением термопрофилей и лёгких балок / Стройпрофиль, 2004, №5(35). — С.83.
7. Энергоэффективная стеновая конструкция. Молодые ученые – промышленности северо-западного региона: Материалы семинаров политехнического симпозиума Декабрь 2006 года. СПб.:Изд-во Политехн. ун-та, 2006. с.127
8. Сборник научных трудов «Научные исследования и инновационная деятельность» Д.В. Кузьменко, Е.Н. Жмарин. Ограждающая конструкция – термопанель как элемент энергоэффективного здания, отвечающего целям минимизации расходования тепловой энергии», 2007 год.
9. VII Международная конференция «Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения» (RELMAS-2008). - Ватин Н.И., Кузьменко Д.В. «Инженерные решения ограждающих конструкций на базе термопанелей».
10. Кузьменко Д.В., Ватин Н.И. Новый тип ограждающей конструкции – термопанель. Стройпрофиль № 6(68), 2008г., с. 56.
11. Ватин Н.И., Кузьменко Д.В. Ограждающие конструкции «нулевой» толщины для каркасных зданий // Материалы круглого стола «Инженерные системы в малоэтажном строительстве и агропромышленном комплексе. 26 августа 2008 г., СПб. – с.72-74.
12. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. Издание 3-е. Издательство «АВОК Северо-запад», Санкт-Петербург, 2006 г.