

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра проектирование зданий

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ
НАРУЖНЫХ СТЕН И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОЗАЩИТЫ**

Методические указания к выполнению самостоятельной работы для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство», по дисциплинам «Физика среды и ограждающих конструкций» и «Строительная физика»

Издание 2-е, дополненное и переработанное

Казань
2017

УДК 692.23:699.86

ББК 38.43

К92

К92 Разработка конструктивного решения наружных стен и обеспечение основных параметров теплозащиты: Методические указания к выполнению самостоятельной работы для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство», по дисциплинам «Физика среды и ограждающих конструкций» и «Строительная физика». Изд. 2-е, доп. и перераб. / Сост.: Куприянов В.Н., Иванцов А.И., Сафин И.Ш. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2017. – 35 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Методические указания к выполнению самостоятельной работы студентов разработаны в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению 08.03.01 «Строительство» и сводами правил СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».

Рецензенты:

Кандидат технических наук,
профессор кафедры ИТиСАПР КГАСУ

Е.М. Удлер

Кандидат технических наук, старший преподаватель
кафедры ТГВ КГАСУ

Д.В. Крайнов

УДК 692.23:699.86

ББК 38.43

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2017

© Куприянов В.Н., Иванцов А.И.,
Сафин И.Ш., 2017

Оглавление

Памятка для преподавателей	4
Основные требования к ограждающим конструкциям	5
Этапы проектирования теплозащиты	5
1 Наружные климатические условия	6
2 Параметры внутренней среды помещений	6
3 Определение влажностных условий эксплуатации ограждающих конструкций	7
4 Требуемое сопротивление теплопередаче R_0^{mp}	8
5 Разработка конструктивного решения наружных стен и определение основных параметров теплозащиты	8
5.1 Выбор конструктивной схемы наружной стены	9
5.2 Подбор стеновых материалов и изделий	9
5.3 Обеспечение необходимого сопротивления теплопередаче по глади наружной стены	10
5.4 Защита от переувлажнения ограждающих конструкций	11
5.4.1 Определение плоскости максимального увлажнения	11
5.4.2 Определение дополнительных расчетных данных	12
5.4.3 Требуемое сопротивление паропроницанию внутренних слоев	13
5.5 Обеспечение санитарно-гигиенических показателей тепловой защиты	13
5.5.1 Обеспечение теплового комфорта в помещении	13
5.5.2 Обеспечение недопустимости выпадения конденсата на внутренних поверхностях наружных стен	14
Литература	16
Приложение А. Индивидуальное задание	17
Приложение Б. Карта зон влажности	19
Приложение В. Температура точки росы	20
Приложение Г. Расчет температурных полей в узлах ограждающих конструкций с использованием программы Elcut	21
Приложение Д. Пример расчета и оформления пояснительной записки	25

Памятка для преподавателей

Целью самостоятельной работы является развитие навыков конструирования наружных стен, узлов примыкания к несущим конструкциям, расчета и обеспечения основных параметров теплозащиты ограждений.

Преподаватель разъясняет студентам цель, задачи и содержание работы. Объясняет правила выполнения, оформления и условия защиты самостоятельной работы.

Самостоятельная работа выполняется студентами по вариантам. Вариант представляет собой набор из пяти цифр, каждой из которых соответствует графа в таблице заданий приложения А:

- 1) назначение здания (жилое, общественное, лечебное, профилактическое, детское учреждение);
- 2) место строительства (город, область);
- 3) конструктивная система здания (каркасная, бескаркасная);
- 4) тип конструкции наружной стены (система скрепленной теплоизоляции, трехслойная стена, навесная фасадная система);
- 5) вид узла с теплотехнической неоднородностью для детальной проработки.

Материал основных функциональных слоев наружной стены (конструкционные и теплоизоляционные материалы) студент выбирает самостоятельно.

Для выбора варианта можно использовать следующие рекомендации: две последние цифры зачетной книжки студент умножает на число 12345 и в качестве варианта принимает пять последних цифр получившегося числа.

Например, две последние цифры зачетной книжки 22, тогда $12345 \times 22 = 271590$. Получаем вариант 71590, по которому в соответствии с приложением А формируем задание следующего вида.

Разработать конструктивное решение наружной стены с узлами примыкания к несущим конструкциям и обеспечить нормативный уровень основных параметров теплозащиты для здания гостиницы (7) в г. Архангельск, Архангельской области (1). Тип конструкции наружной стены – трехслойная (5), конструктивная система здания – бескаркасная (9). Узлы для детальной проработки 1 и 4 для бескаркасной конструктивной системы (0).

В результате выполнения работы студент должен получить:

- конструкцию наружной стены с описанием использованных материалов и их теплотехнических характеристик, размеров слоев ограждения и их оптимального расположения в конструкции;
- конструкцию узлов соединения наружной стены с несущими системами с выделением участков с теплотехнической неоднородностью;
- основные параметры теплозащиты наружной стены, соответствующие нормативным требованиям.

Основные требования к ограждающим конструкциям

Уровень теплозащиты ограждающих конструкций должен соответствовать климатическим воздействиям места строительства и обеспечивать санитарно-гигиенические условия в помещениях зданий. Ограждающие конструкции должны сохранять теплозащитные качества в процессе эксплуатации, т.е. быть долговечными. Это может быть достигнуто рациональным проектированием и конструированием ограждения с учетом процессов теплопередачи (исключение конденсации влаги на внутренних поверхностях ограждений), паропроницаемости (исключение накопления конденсированной влаги в ограждении).

Согласно СП 50.13330 «Тепловая защита зданий» теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений (поэлементные требования);

б) удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (комплексное требование);

в) температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование).

Требования тепловой защиты здания будут выполнены при одновременном выполнении требований а), б) и в).

В данной работе рассматривается выполнение требований по пункту а) (частично) и пункту в).

Этапы проектирования теплозащиты

Для Российской Федерации, основная территория которой находится в умеренном и холодном климате, проектирование теплозащиты зданий для холодного периода года является основным. Проектирование состоит из следующих этапов.

1. Определение расчетных климатических параметров географического места строительства (наружные климатические условия).

2. Выбор параметров микроклимата помещений в зависимости от назначения помещений (параметры внутренней среды помещений).

3. Определение влажностных условий эксплуатации ограждающих конструкций (А или Б) для выбора коэффициентов теплопроводности материалов λ_A и λ_B и других расчетных параметров.

4. Определение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций R_0^{mp} .

5. Разработка конструктивного решения наружных стен и обеспечение основных параметров теплозащиты (необходимого

сопротивления теплопередаче; защиты от переувлажнения конструкции; санитарно-гигиенических показателей тепловой защиты).

1. Наружные климатические условия

Расчетными климатическими параметрами холодного периода года являются:

а) расчетная температура наружного воздуха t_n , °С;

Величина t_n в теплотехническом расчете должна определяться в зависимости от тепловой инерции проектируемого ограждения D . Чем меньше тепловая инерция ограждения (т.е. его теплоаккумулирующая способность), тем меньшую температуру необходимо принимать в качестве расчетного значения.

Так как на начальном этапе проектирования тепловая инерция ограждения неизвестна, то согласно СП «Тепловая защита зданий» t_n принимается как средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по СП 131.13330.

В дальнейшем, когда будет определена тепловая инерция проектируемого ограждения, величина t_n должна быть скорректирована:

при $D \geq 7$ – t_n принимается как средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;

при $4 \geq D < 7$ – t_n принимается как средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98;

при $1,5 \geq D < 4$ – t_n принимается как средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92;

при $D < 1,5$ – t_n принимается как средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98;

б) средняя температура наружного воздуха за отопительный период t_{om} , °С;

в) продолжительность отопительного периода z_{om} , сут.;

t_{om} и z_{om} принимаются по СП 131.13330 для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8°С при проектировании жилых и общественных зданий, и не более 10°С при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых;

г) зона влажности места строительства (влажная, нормальная, сухая), определяемая по «Карте зон влажности» СП 50.13330 (приложение Б);

д) средняя годовая температура наружного воздуха, $t_n^{год}$, °С;

е) среднее годовое парциальное давление водяного пара наружного воздуха, e_n , Па.

2. Параметры внутренней среды помещений

Расчетные параметры внутренней среды помещений устанавливаются в зависимости от типа здания и назначения помещений. В одном здании могут оказаться помещения различного назначения, для которых устанавливаются различные по величине расчетные параметры.

Перечень параметров внутренней среды помещений и их расчетные значения устанавливаются нормативными документами.

Для жилых и общественных зданий это:

а) температура внутреннего воздуха t_v , °С.

Согласно СП 50.13330 t_v принимается по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий и помещений по ГОСТ 30494;

б) относительная влажность внутреннего воздуха ϕ_v , %.

Для определения точки росы ϕ_v принимается по СП 50.13330:

для помещений жилых зданий, больничных учреждений, школ, детских садов и детских домов – 55%;

для кухонь – 60%;

для ванных комнат – 65%;

для других помещений общественных зданий (за исключением вышеуказанных) – 50%.

Температура внутреннего воздуха t_v и его относительная влажность ϕ_v определяют влажностный режим помещений (табл. 1).

Таблица 1

Влажностный режим помещений зданий

Режим	Влажность внутреннего воздуха, %, при температуре, °С		
	до 12	свыше 12 до 24	свыше 24
Сухой	До 60	До 50	До 40
Нормальный	Свыше 60 до 75	Свыше 50 до 60	Свыше 40 до 50
Влажный	Свыше 75	Свыше 60 до 75	Свыше 50 до 60
Мокрый	–	Свыше 75	Свыше 60

3. Определение влажностных условий эксплуатации ограждающих конструкций

Ограждающие конструкции находятся между двумя влажностными зонами: влажностным режимом помещения и зоной влажности места строительства. В зависимости от сочетания этих влажностных зон изменяется уровень влажности ограждения (условия эксплуатации) и изменяется величина коэффициентов теплопроводности материалов ограждения.

В инженерных расчетах принято разделять теплотехнические свойства материалов в ограждениях на две группы в зависимости от их эксплуатационной влажности: группа А (меньшая эксплуатационная влажность) и группа Б (большая эксплуатационная влажность).

В соответствии с этим введены различные коэффициенты теплопроводности материалов λ_A и λ_B .

Влажностные условия эксплуатации ограждающих конструкций определяются в зависимости от влажностного режима помещения и зоны влажности места строительства (табл. 2).

Таблица 2

Условия эксплуатации ограждающих конструкций

Влажностный режим помещений зданий	Условия эксплуатации А и Б в зоне влажности		
	сухой	нормальной	влажной
Сухой	А	А	Б
Нормальный	А	Б	Б
Влажный или мокрый	Б	Б	Б

4. Требуемое сопротивление теплопередаче R_0^{mp}

Величина требуемого сопротивления теплопередаче R_0^{mp} определяется климатическими условиями места строительства, но зависит также от назначения здания (жилое, общественное, производственное) и вида ограждающей конструкции (стены, покрытия, перекрытия, окна и т.д.). Климатические условия места строительства определяются градусо-сутками отопительного периода ГСОП по формуле:

$$ГСОП = (t_e - t_{om}) \cdot z_{om}. \quad (1)$$

По значению ГСОП из нормативной табл. 3 СП 50.13330 выбирается величина R_0^{mp} в зависимости от назначения здания и вида ограждения.

Например, для жилого здания в районе строительства с ГСОП = 6000 требуемое сопротивление теплопередаче R_0^{mp} будет равно: для наружной стены – 3,5(м²·°С)/Вт, для покрытий – 5,2 (м²·°С)/Вт, а для окна – только 0,6(м²·°С)/Вт.

5. Разработка конструктивного решения наружных стен и определение основных параметров теплозащиты

Современные ограждающие конструкции состоят из трех основных функциональных слоев: конструкционного, теплоизоляционного и облицовочного. В зависимости от используемых материалов, слои могут выполнять несколько функций. В некоторых конструктивных решениях используют специальные ветро-, влаго-, паронепроницаемые слои (пленки или обмазки).

Конструкционные слои выполняются из плотных и прочных материалов, которые имеют высокую теплопроводность и низкую паропроницаемость. Это кирпич, камень, бетон различных видов, железобетон и т.п.

Теплоизоляционные слои выполняются из материалов, имеющих низкую плотность и прочность, высокую пористость, низкую теплопроводность и высокую паропроницаемость. Это плиты и маты из минеральных волокон, пенопласты, теплоизоляционные бетоны и т.п.

Облицовочные слои выполняются из декоративных материалов и изделий, имеющих различные свойства, основными из которых являются высокая стойкость к атмосферным воздействиям и долговечность. Облицовочные слои выполняются из штукатурки, лицевого кирпича, природного камня, керамических плитных изделий и т.п.

5.1. Выбор конструктивной схемы наружной стены

Все многообразие применяемых в массовом строительстве конструктивных решений многослойных стен сводится к трем основным типам (рис. 1):

- а) двухслойные конструкции с тонким облицовочным штукатурным слоем (системы по типу «мокрый фасад»);
- б) трехслойные конструкции с облицовочным слоем из керамического кирпича;
- в) системы навесного фасада («вентфасад»).

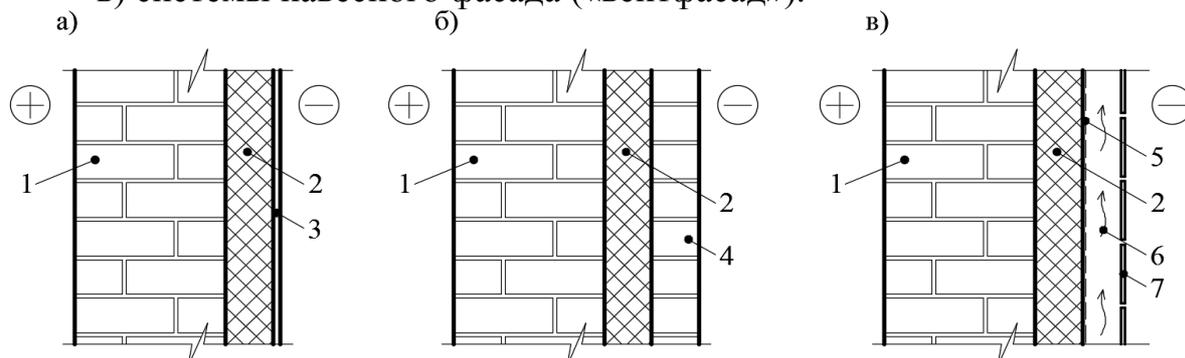


Рис. 1. Основные конструктивные типы наружных стен:

1 – конструкционный слой; 2 – теплоизоляционный слой; 3 – наружная штукатурка; 4 – лицевой камень или кирпич; 5 – ветро-, влагозащитная мембрана; 6 – воздушная прослойка; 7 – листовый или плитный облицовочный материал

5.2. Подбор стеновых материалов и изделий

При выборе стеновых материалов следует отдавать предпочтение местным высокоэффективным материалам. Для выбора используют техническую и справочную документацию, в которой приведены геометрические размеры и физико-технические свойства стеновых материалов и изделий.

Для оценки теплозащитных качеств ограждающих конструкций используются следующие физико-технические показатели:

- плотность ρ_0 , кг/м³;

- коэффициент теплопроводности материала λ_A или λ_B , Вт/(м·°С);
- коэффициент теплопроводности конструкции стены из этого материала λ , Вт/(м·°С) (теплопроводность стены из штучных материалов зависит от свойств кладочного раствора («холодный» или «теплый» раствор, клей и т.д.);
- коэффициент паропроницаемости материала μ мг/(м·ч·Па),
- размеры изделий, которые формируют толщину функционального слоя δ_i , м.

5.3. Обеспечение необходимого сопротивления теплопередаче по глади наружной стены*

Базовым требованием теплозащиты ограждающих конструкций является условие:

$$R_{mo} \geq R_0^{mp}, \quad (2)$$

где R_0^{mp} – требуемое сопротивление теплопередаче конструкции (м²·°С)/Вт;

R_{mo} – сопротивление теплопередаче проектируемой конструкции (м²·°С)/Вт.

Расчет сопротивления теплопередаче конструкции ограждения выполняют по формуле:

$$R_{mo} = R_{me} + R_{mk} + R_{mn} = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (3)$$

где δ_n – толщина n-го слоя, м;

λ_n – теплопроводность n-го слоя, Вт/(м·°С);

α_e – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности Вт/(м²·°С); определяемый по табл. 4 СП 50.13330, для стен $\alpha_e = 8,7$ Вт/(м²·°С);

α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности Вт/(м²·°С); определяемый по табл. 6 СП 50.13330, для стен $\alpha_n = 23$ Вт/(м²·°С).

Соответственно, обеспечение неравенства (2) выполняется изменением толщины материальных слоев в ограждении (δ_i) или использованием материалов с различными коэффициентами теплопроводности (λ_i).

Толщины конструкционных и облицовочных слоев в ограждении назначаются, как правило, конструктивно. Толщины слоев должны быть привязаны к модульной системе (укрупненной или дробной), к толщинам используемых изделий с учетом монтажных швов.

Например, толщина кирпичной кладки будет кратна ширине кирпича (120 мм) с учетом толщины растворных швов (10 мм): толщина в 1 кирпич – 250 мм (120+10+120), толщина в 1,5 кирпича – 380 мм (250+10+120), толщина в 2 кирпича – 510 мм (250+10+250).

* Под гладью стены понимается такая часть стены, в которой материальные слои расположены параллельно друг другу и отсутствуют теплопроводные включения.

Толщина теплоизоляционного слоя может быть принята конструктивно с последующим определением R_{mo} или может определиться путем расчета по формуле (3), в которой R_{mo} заменено на R_0^{mp} .

5.4. Защита от переувлажнения ограждающих конструкций

Защита от переувлажнения ограждающих конструкций должна обеспечиваться путем проектирования ограждающих конструкций с сопротивлением паропрооницанию внутренних слоев не менее требуемого значения, исходя из двух условий.

1. Из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации. То есть конденсированная влага, накопившаяся в ограждении за зимний период, должна удалиться (испариться) за летний период.

2. Из условия ограничения накопления влаги в ограждающей конструкции до определенной величины ΔW , которая регламентируется нормами для разных материалов (таблица 10 СП 50.13330).

Расчет требуемого сопротивления паропрооницанию исходя из данных условий по действующим нормативным документам достаточно сложен, так как требует сбора большого количества исходных данных.

В данной работе студенту предлагается произвести расчет защиты от переувлажнения исходя только из первого условия и по упрощенной методике:

5.4.1. Определение плоскости максимального увлажнения

Проектируемая ограждающая конструкция разделяется на две зоны по плоскости максимального увлажнения (плоскости возможной конденсации): в двухслойной и трехслойной стене эта плоскость проходит по наружной поверхности утеплителя; в системе навесного фасада – на расстоянии $1/3$ толщины теплоизоляционного слоя от наружной поверхности утеплителя.

Для двух- и трехслойных стен

Для навесных фасадов



Рис. 2. Определение плоскости максимального увлажнения

5.4.2. Определение дополнительных расчетных данных

1. Парциальное давление насыщенного водного пара внутреннего воздуха:

$$E_g = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,72^{-5330/(273+t_g)}, \text{ Па.} \quad (4)$$

2. Парциальное давление водного пара внутреннего воздуха:

$$e_g = \frac{\varphi_g \cdot E_g}{100}, \text{ Па;} \quad (5)$$

3. Сопротивление паропрооницанию наружных слоев до плоскости максимального увлажнения:

$$R_{nn} = \frac{\delta_n}{\mu_n}, (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}) / \text{мг}. \quad (6)$$

где δ_n , м – толщина материального слоя от наружной поверхности до плоскости максимального увлажнения; μ_n , мг/(м·ч·Па) – паропроницаемость материала этого слоя.

4. Температура в плоскости максимального увлажнения при температуре наружного воздуха t_n^{zod} :

$$t_x = t_n^{zod} + \frac{t_g - t_n^{zod}}{R_{mo}} \cdot \left(\frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_n} \right), ^\circ\text{C}, \quad (7)$$

где λ_n , Вт/(м·°С) – теплопроводность материала слоя от наружной поверхности до плоскости максимального увлажнения.

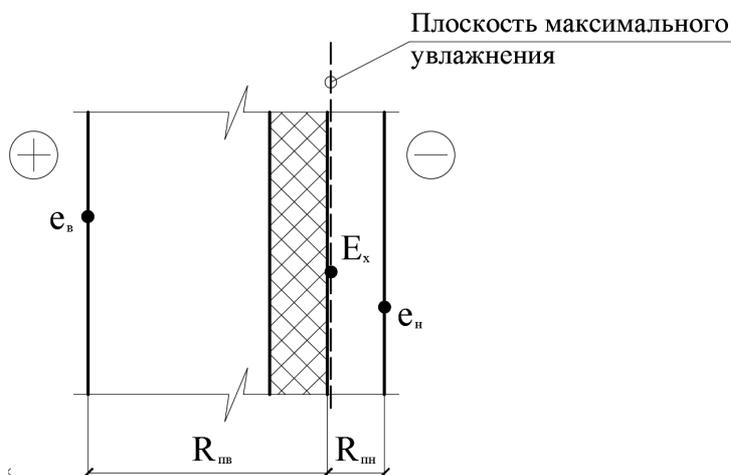


Рис. 3. К расчету защиты от переувлажнения конструкции наружной стены

5. Парциальное давление насыщенного водного пара в плоскости максимального увлажнения при температуре наружного воздуха t_n^{zod} :

$$E_g = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,72^{-5330/(273+t_x)}, \text{ Па.} \quad (8)$$

5.4.3. Требуемое сопротивление паропроницанию внутренних слоев

Определяется требуемое сопротивление паропроницанию внутренних слоев от плоскости максимального увлажнения до внутренней поверхности

$$R_{ng}^{mp} = \frac{(e_g - E_x)R_{nn}}{E_x - e_n}, (M^2 \cdot \mu \cdot Pa) / m^2. \quad (9)$$

Проверяется условие

$$R_{ng} \geq R_{ng}^{mp}, \quad (10)$$

где $R_{ng} = \sum \frac{\delta_i}{\mu_i}, (M^2 \cdot \mu \cdot Pa) / m^2$ – сопротивление паропроницанию внутренних слоев ограждающей конструкции.

Если условие не выполняется, необходимо уменьшить сопротивление паропроницанию облицовочного слоя за счет уменьшения его толщины или увеличения коэффициента паропроницаемости или увеличить сопротивление паропроницанию внутренних слоев за счет увеличения их толщины или уменьшения коэффициента паропроницаемости.

5.5. Обеспечение санитарно-гигиенических показателей тепловой защиты

Наряду с необходимой теплозащитой ограждающие конструкции определяют ряд санитарно-гигиенических условий в помещениях зданий, которые контролируются нормативными документами:

а) тепловой комфорт, который устанавливается по перепаду Δt_0 между температурой внутреннего воздуха t_g и температурой внутренней поверхности стены «по глади» t_n ;

б) недопустимость выпадения конденсата на внутренней поверхности наружного ограждения в местах теплотехнических неоднородностей.

5.5.1. Обеспечение теплового комфорта в помещении

Оценка соответствия теплового комфорта в помещении нормативным требованиям идет путем сравнения расчетного перепада температур Δt_0 с нормируемым Δt_n :

$$\Delta t_0 \leq \Delta t_n. \quad (11)$$

Расчетный перепад Δt_0 определяется как:

$$\Delta t_0 = \frac{n \cdot (t_g - t_n)}{R_{mo} \cdot \alpha_g}, \quad (12)$$

где n – коэффициент, зависящий от положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху (для наружных стен $n = 1.0$);
 $t_{в}$ и $t_{н}$ – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха, °С;
 $R_{то}$ – сопротивление теплопередаче ограждения по глади стены ($\text{м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}$);
 $\alpha_{в}$ – коэффициент теплообмена у внутренней поверхности ограждения, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°С})$.

Чем меньше разность $\Delta t_0 = (t_e - \tau_e)$, тем выше тепловой комфорт в помещении.

Нормируемые значения Δt_n приведены в табл. 5 СП 50.13330:

$\Delta t_n = 4,0$ °С – для жилых зданий, лечебно-профилактических и детских учреждений, школ и интернатов;

$\Delta t_n = 4,5$ °С – для общественных зданий, кроме указанных выше.

Стоит отметить, что в действующей редакции СП «Тепловая защита зданий» контроль теплового комфорта помещений как одного из санитарно-гигиенических требований тепловой защиты исключен. Это произошло в связи с тем, что повышенный нормативный уровень теплозащиты современных ограждающих конструкций в подавляющем большинстве случаев удовлетворяет этому условию изначально.

5.5.2. Обеспечение недопустимости выпадения конденсата на внутренних поверхностях наружных стен

Выпадение конденсата на внутренних поверхностях наружных стен свидетельствует о неблагоприятном конструктивном решении ограждений или о неправильном выборе материалов. Чаще всего конденсат на внутренних поверхностях появляется в местах теплотехнических неоднородностей, где выше теплотери ограждения и, следовательно, ниже температуры внутренних поверхностей.

Температура внутренней поверхности ограждающей конструкции в местах теплотехнических неоднородностей τ_e' должна быть не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха t_p при расчетной температуре наружного воздуха – t_n °С:

$$\tau_e' > t_p. \quad (13)$$

Величина температуры точки росы t_p определяется в зависимости от температуры t_e и относительной влажности ϕ_e внутреннего воздуха (приложение В).

Величина температуры τ_e' согласно СП 50.13330 должна определяться по результатам расчета температурных полей всех зон с теплотехнической неоднородностью.

В данной работе студенту предлагается определить температуру τ_e' для двух характерных узлов согласно индивидуального задания с применением компьютерной программы Elcut (или аналога). Пояснения к

расчету температурных полей в узлах ограждающих конструкций при помощи программы Elcut приведены в приложении Г.

Если в результате расчетов окажется, что τ_6' ниже температуры точки росы t_p , то в этом сечении будет выпадать конденсат. Такое положение не соответствует нормам СП и требует исправления.

Исключить конденсацию водяных паров на внутренних поверхностях стен в зонах теплопроводных включений можно двумя путями:

- 1) введением термовкладышей в зонах высокотеплопроводных несущих конструкций;
- 2) устройством теплозащитных накладок со стороны помещения.

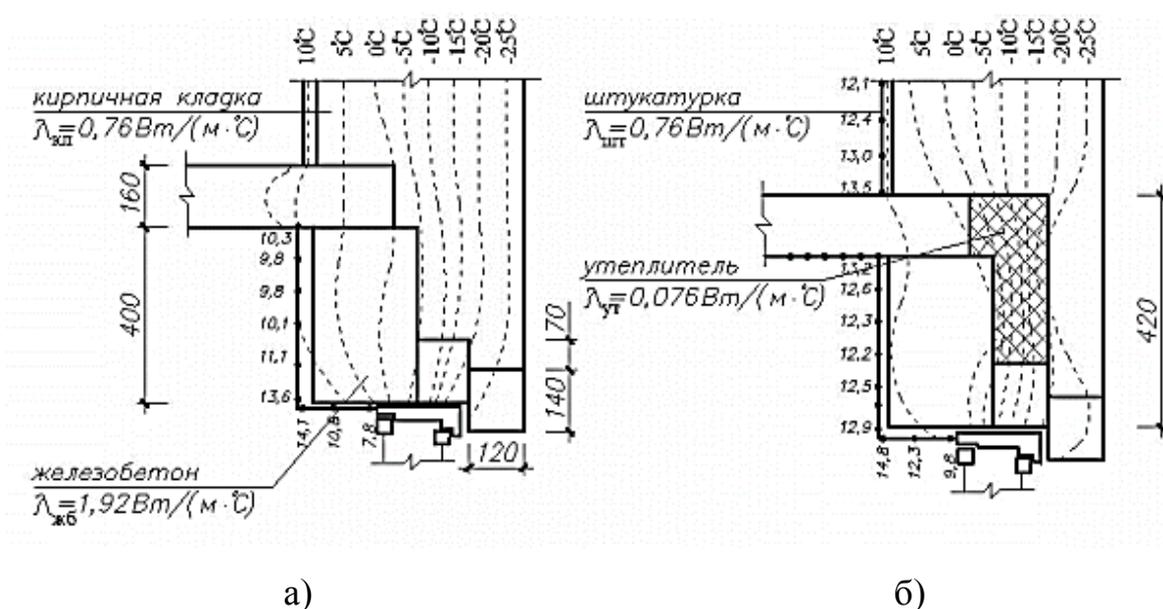


Рис. 4. Температурные поля в месте опирания плит перекрытия на обвязочную балку: а) без устройства утепления; б) при утеплении минеральной ватой

В завершении работы приводится сводная таблица результатов проектирования и расчета, а также заключение о соответствии (или несоответствии) параметров теплозащиты разработанного ограждения требованиям СП 50.13330.2012.

Таблица 3

Сводная таблица результатов расчета

№ п/п	Наименование параметров, размерность	Величина	Условия соответствия нормам	Заключение о соответствии
1	Сопротивление теплопередаче, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт}$; – по глади стены R_{mo} – требуемое R_0^{mp}$	... ...	R_{mo} \geq R_0^{mp}$ ...	... ...
2	Разность температур $\Delta t_0 = (t_g - \tau_g)$ – Δt_0 по расчету – Δt_n по норме СП	... ...	$\Delta t_0 \leq \Delta t_n$...	......
3	Температуры t_p и τ_g' , $^\circ\text{C}$ – температура точки росы t_p – температура внутренней поверхности в узле 1, τ_g' – температура внутренней поверхности в узле 2, τ_g'$	... ... ...	\tau_g' > t_p$......	.........
4	Сопротивление паропроницанию внутренних слоев – R_{ng} по расчету – требуемое R_{ng}^{mp}$	... ...	R_{ng} \geq R_{ng}^{mp}$ ...	... ...

Литература

1. Куприянов В.Н. Физика среды и ограждающих конструкций: учебник для бакалавров – М: Изд-во АСВ, 2015. – 312 с.
2. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий.
3. СП 131.13330.2012. Строительная климатология.
4. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий.
5. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
6. СанПиН 2.1.2.1002-00. Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

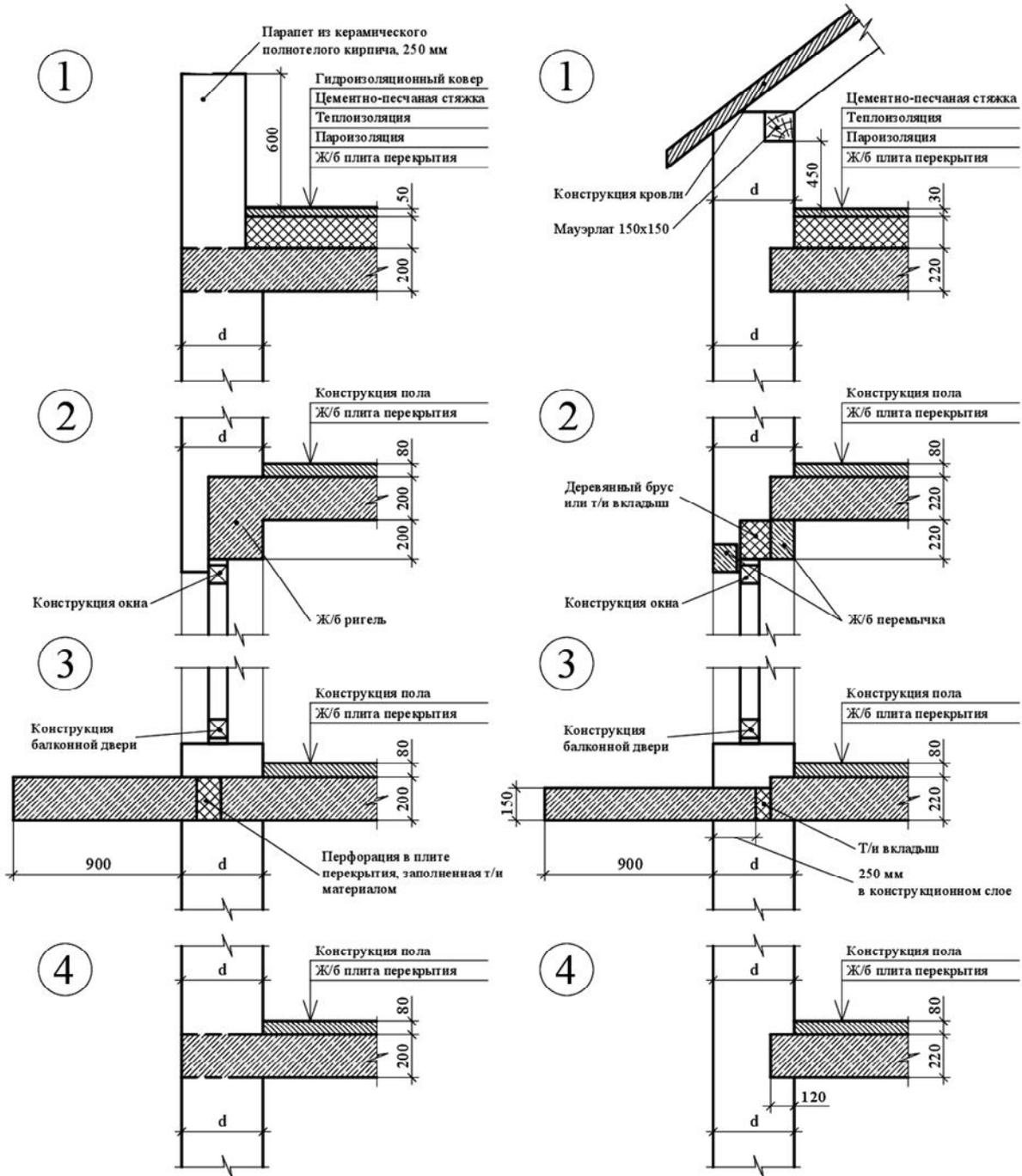
Индивидуальное задание

Вариант	Назначение здания	Город	Тип стены	Конструктивная система	Номер узла
0	Школа	Анадырь, Чукотский АО	С тонким штукатурным слоем	Каркасная	1, 4
1	Жилой дом	Архангельск, Архангельская обл.	Навесной фасад	Бескаркасная	2, 4
2	Магазин	Дудинка, Красноярский край	Трехслойная	Каркасная	3, 4
3	Кинотеатр	Екатеринбург, Свердловская обл.	С тонким штукатурным слоем	Бескаркасная	1, 4
4	Детский сад	Иркутск, Иркутская обл.	Навесной фасад	Каркасная	2, 4
5	Общежитие	Магадан, Магаданская обл.	Трехслойная	Бескаркасная	3, 4
6	Офисный центр	Мурманск, Мурманская обл.	С тонким штукатурным слоем	Каркасная	1, 4
7	Гостиница	Омск, Омская обл.	Навесной фасад	Бескаркасная	2, 4
8	Поликлиника	Саратов, Саратовская обл.	Трехслойная	Каркасная	3, 4
9	Спортзал	Тула, Тульская обл.	С тонким штукатурным слоем	Бескаркасная	1, 4

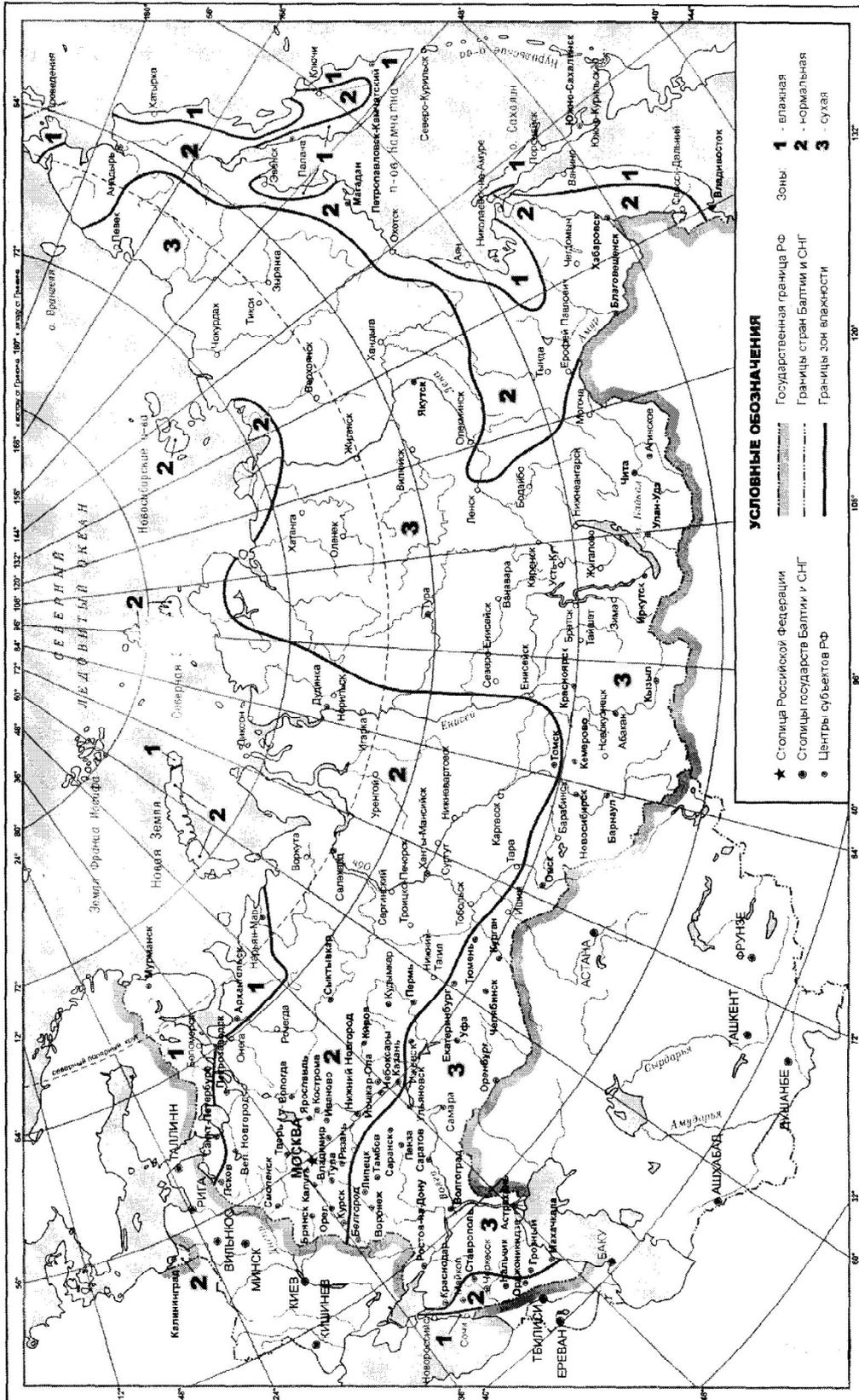
Узлы для детальной проработки

Каркасная конструктивная система

Бескаркасная конструктивная система



Карта зон влажности



Температура точки росы

$t_{в},$ °C	$t_{р},$ °C, при $\phi_{в},$ %											
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
-5	-15,3	-14,04	-12,9	-11,84	-10,83	-9,96	-9,11	-8,31	-7,62	-6,89	-6,24	-5,6
-4	-14,4	-13,1	-11,93	-10,84	-9,89	-8,99	-8,11	-7,34	-6,62	-5,89	-5,24	-4,6
-3	-13,42	-12,16	-10,98	-9,91	-8,95	-7,99	-7,16	-6,37	-5,62	-4,9	-4,24	-3,6
-2	-12,58	-11,22	-10,04	-8,98	-7,95	-7,04	-6,21	-5,4	-4,62	-3,9	-3,34	-2,6
-1	-11,61	-10,28	-9,1	-7,98	-7,0	-6,09	-5,21	-4,43	-3,66	-2,94	-2,34	-1,6
0	-10,65	-9,34	-8,16	-7,05	-6,06	-5,14	-4,26	-3,46	-2,7	-1,96	-1,34	-0,62
1	-9,85	-8,52	-7,32	-6,22	-5,21	-4,26	-3,4	-2,58	-1,82	-1,08	-0,41	0,31
2	-9,07	-7,72	-6,52	-5,39	-4,38	-3,44	-2,56	-1,74	-0,97	-0,24	0,52	1,29
3	-8,22	-6,88	-5,66	-4,53	-3,52	-2,57	-1,69	-0,88	-0,08	0,74	1,52	2,29
4	-7,45	-6,07	-4,84	-3,74	-2,7	-1,75	-0,87	-0,01	0,87	1,72	2,5	3,26
5	-6,66	-5,26	-4,03	-2,91	-1,87	-0,92	-0,01	0,94	1,83	2,68	3,49	4,26
6	-5,81	-4,45	-3,22	-2,08	-1,04	-0,08	0,94	1,89	2,8	3,68	4,48	5,25
7	-5,01	-3,64	-2,39	-1,25	-0,21	0,87	1,9	2,85	3,77	4,66	5,47	6,25
8	-4,21	-2,83	-1,56	-0,42	-0,72	1,82	2,86	3,85	4,77	5,64	6,46	7,24
9	-3,41	-2,02	-0,78	0,46	1,66	2,77	3,82	4,81	5,74	6,62	7,45	8,24
10	-2,62	-1,22	0,08	1,39	2,6	3,72	4,78	5,77	6,71	7,6	8,44	9,23
11	-1,83	-0,42	0,98	1,32	3,54	4,68	5,74	6,74	7,68	8,58	9,43	10,23
12	-1,04	0,44	1,9	3,25	4,48	5,63	6,7	7,71	8,65	9,56	10,42	11,22
13	-0,25	1,35	2,82	4,18	5,42	6,58	7,66	8,68	9,62	10,54	11,41	12,21
14	0,63	2,26	3,76	5,11	6,36	7,53	8,62	9,64	10,59	11,52	12,4	13,21
15	1,51	3,17	4,68	6,04	7,3	8,48	9,58	10,6	11,59	12,5	13,38	14,21
16	2,41	4,08	5,6	6,97	8,24	9,43	10,54	11,57	12,56	13,48	14,36	15,2
17	3,31	4,99	6,52	7,9	9,18	10,37	11,5	12,54	13,53	14,46	15,36	16,19
18	4,2	5,9	7,44	8,83	10,12	11,32	12,46	13,51	14,5	15,44	16,34	17,19
19	5,09	6,81	8,36	9,76	11,06	12,27	13,42	14,48	15,47	16,42	17,32	18,19
20	6,0	7,72	9,28	10,69	12,0	13,22	14,38	15,44	16,44	17,4	18,32	19,18
21	6,9	8,62	10,2	11,62	12,94	14,17	15,33	16,4	17,41	18,38	19,3	20,18
22	7,69	9,52	11,12	12,56	13,88	15,12	16,28	17,37	18,38	19,36	20,3	21,6
23	8,68	10,43	12,03	13,48	14,82	16,07	17,23	18,34	19,38	20,34	21,28	22,15
24	9,57	11,34	12,94	14,41	15,76	17,02	18,19	19,3	20,35	21,32	22,26	23,15
25	10,46	12,75	13,86	15,34	16,7	17,97	19,15	20,26	21,32	22,3	23,24	24,14
26	11,35	13,15	14,78	16,27	17,64	18,95	20,11	21,22	22,29	23,28	24,22	25,14
27	12,24	14,05	15,7	17,19	18,57	19,87	21,06	22,18	23,26	24,26	25,22	26,13
28	13,13	14,95	16,61	18,11	19,5	20,81	22,01	23,14	24,23	25,24	26,2	27,12
29	14,02	15,86	17,52	19,04	20,44	21,75	22,96	24,11	25,2	26,22	27,2	28,12
30	14,92	16,77	18,44	19,97	21,38	22,69	23,92	25,08	26,17	27,2	28,18	29,11
31	15,82	17,68	19,36	20,9	22,32	23,64	24,88	26,04	27,14	28,08	29,16	30,1
32	16,71	18,58	20,27	21,83	23,26	24,59	25,83	27,0	28,11	29,16	30,16	31,19
33	17,6	19,48	21,18	22,76	24,2	25,54	26,78	27,97	29,08	30,14	31,14	32,19
34	18,49	20,38	22,1	23,68	25,14	26,49	27,74	28,94	30,05	31,12	32,12	33,08
35	19,38	21,28	23,02	24,6	26,08	27,64	28,7	29,91	31,02	32,1	33,12	34,08

Расчет температурных полей в узлах ограждающих конструкций с использованием программы Elcut

Для расчетов температурных полей необходимо иметь разработанную конструкцию ограждения и узлов с точными размерами и известными теплотехническими характеристиками стеновых материалов и изделий.

Расчет температурных полей производится в следующей последовательности.

1. Начало работы. После запуска программы Elcut необходимо создать новую задачу (Файл → Создать задачу...). В открывшемся окне задается Имя задачи и директория ее сохранения. Далее выбирается тип задачи (в данном случае – Теплопередача стационарная), класс модели – Плоская, единицы длины – Миллиметры; оставшиеся параметры остаются без изменения.

2. Создание геометрии. Программа Elcut позволяет создавать геометрию как с помощью встроенного интерфейса, так и путем импорта из САПР-программ (Файл → Импорт DXF). Основными типами геометрических объектов модели являются вершина, ребро и блок.

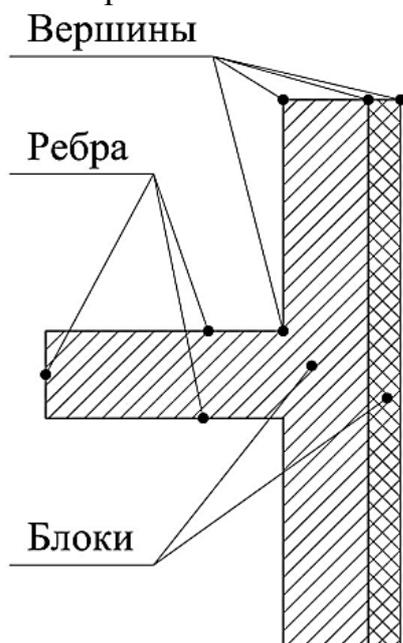


Рис. Г1. Основные типы геометрических объектов программы Elcut

Каждая *вершина* представляет собой точку на плоскости. Координаты такой точки могут быть введены пользователем вручную или вычислены как координаты пересечения пары рёбер.

Каждое *ребро* представляет собой отрезок прямой или дугу окружности, соединяющие две вершины. Ребра модели не пересекают друг друга. Создаваемое новое ребро разбивается на части каждой лежащей на нем вершиной модели и каждой точкой пересечения с уже существующим ребром модели. С каждым ребром может быть связана метка, например, для описания краевого условия.

Каждый *блок* представляет собой связную подобласть плоскости модели, внешняя граница которой образована последовательностью рёбер. Внутри блоков

могут находиться дыры. Каждая из границ, отделяющих блок от внутренних дыр, образовывается либо последовательностью рёбер, либо одной изолированной вершиной.

Чтобы создать новое ребро нужно следующее.

- Выберите команду **Режим вставки** из меню **Правка** или команду **Вставка вершин/ребер** из контекстного меню, либо нажмите клавишу INS или кнопку **Вставлять вершины и ребра** на панели инструментов, чтобы перейти в режим вставки.

- В начальной точке создаваемого ребра: либо нажмите левую кнопку мыши и, не отпуская ее, перетащите указатель мыши к конечной точке, либо нажмите клавишу SHIFT и, не отпуская ее, передвиньте указатель к конечной точке с помощью клавиш со СТРЕЛКАМИ. Если один или оба конца нового ребра не совпадают с уже существующими вершинами, недостающие вершины будут автоматически добавлены к модели перед созданием ребра.

3. Назначение свойств материалов (метки блоков). После создания геометрии задаются свойства материалов. Для этого нажатием мыши в области конкретного материала (блока) выделяется соответствующий участок. На панели **Свойства** задается название данного материала в поле **Метка** (железобетон, теплоизоляция и пр.); это же название появляется в структуре задачи (рис. Г2). Щелкая правой кнопкой мыши по выделенному материалу, выбирается пункт **Свойства**. В появившемся окне назначается теплопроводность материала (рис. Г2).

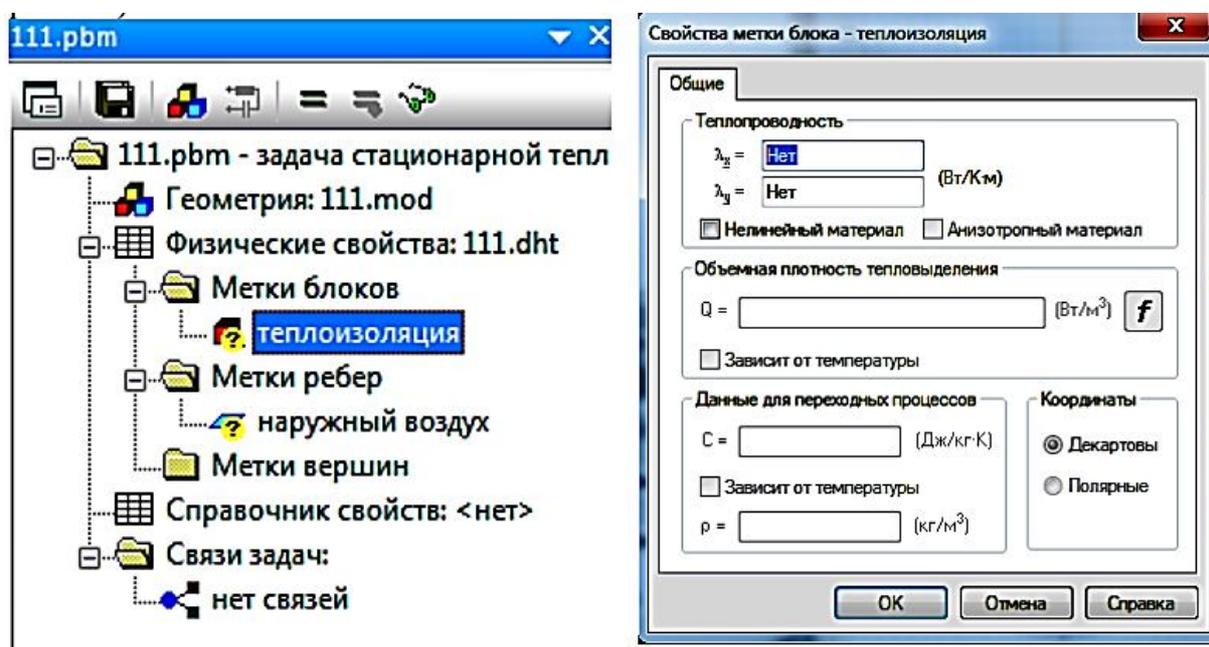


Рис. Г2. Структура модели и окно **Свойства метки блока**

4. Назначение граничных условий (метки ребер). Руководствуясь описанным в п. 3 алгоритмом, выбираются граничные ребра узла, относящиеся к внутренним или наружным условиям. В окне *Свойства* метки ребра ставится галочка на пункте *Конвекция* и назначаются температура воздуха и коэффициент теплоотдачи поверхности, соответственно, для наружных и внутренних условий (рис. Г3).

5. Построение сетки. Для вычисления требуемых значений необходимо разбить геометрию узла сеткой конечных элементов. (Правка → Построить сетку → Во всех блоках)

6. Решение задачи. Задача → Решить:... Если все параметры заданы корректно, то после выполнения соответствующей команды на экране появится изображение температурного поля данного узла (см. рис. Г3)

7. Анализ картины поля. Вычисленные значения можно получить как дискретно (в каждой точке), используя кнопку *Локальные значения*, так и в виде графика по определенному контуру. Для задания контура необходимо щелкнуть правой клавишей мыши по изображению и выбрать пункт *Добавить (Линия/Ребро/Блок)*; затем последовательно выбрать ребра, по которым необходимо получить распределение значений, и нажать кнопку *График*. (рис. Г4). Выбрав в контекстном меню или на панели инструментов кнопку *Свойства картины поля*, можно изменить выводимые характеристики (температура, тепловой поток и пр.), а также изменить вид представления результатов (изотермы, векторы, изополя).

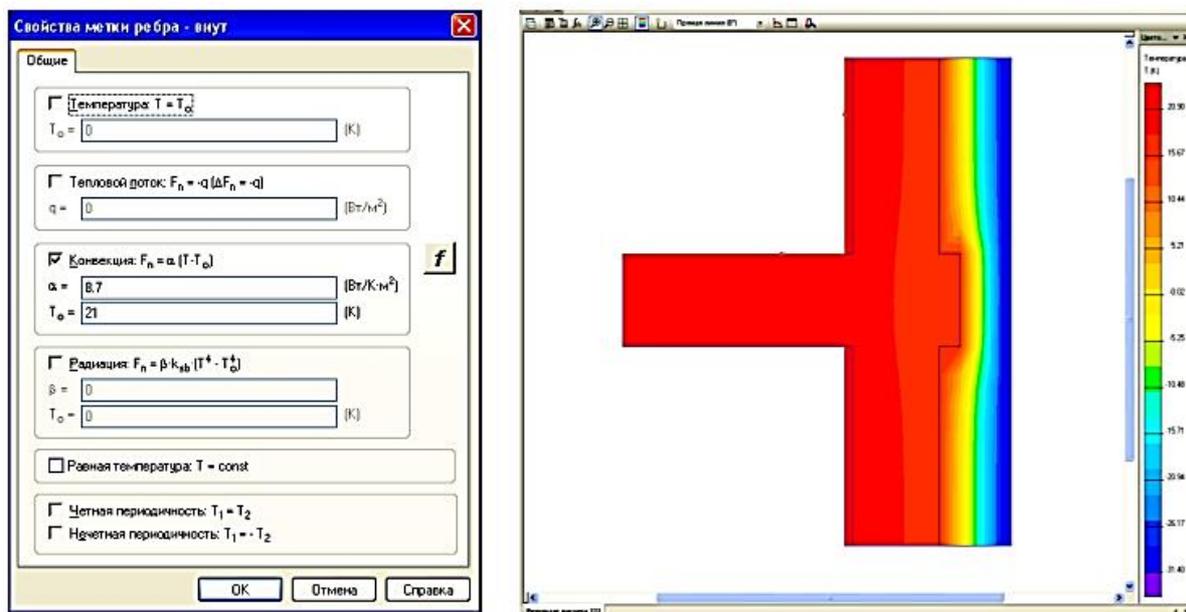


Рис. Г3. Окно *Свойства метки ребра* и Картина поля

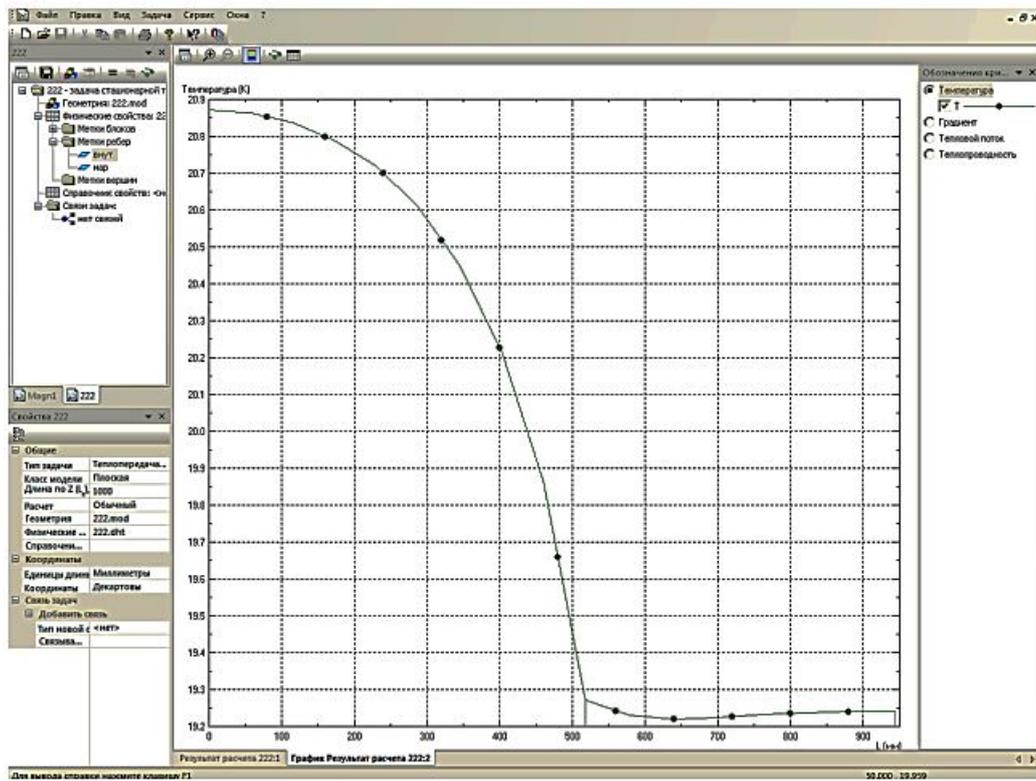


Рис. Г4. График распределения температур по внутренней поверхности узла

Пример расчета и оформления пояснительной записки

Разработать конструктивное решение наружной стены с узлами примыкания к несущим конструкциям и обеспечить нормативный уровень основных параметров теплозащиты для **жилого здания** в г. **Казань**, Республики Татарстан. Тип конструкции наружной стены – **скрепленная теплоизоляция**, конструктивная система здания – **каркасная**. Узлы для детальной проработки **1** и **4** для каркасной конструктивной системы.

1. Наружные климатические условия

Установлены для г. Казань:

а) расчетная температура наружного воздуха $t_n = -31$ °С определена по табл. 3.1 СП 131.13330 «Строительная климатология» как температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;

б) средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{om} = -4,8$ °С;

в) продолжительность отопительного периода $z_{om} = 208$ сут. определены по табл. 3.1 СП 131.13330 для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С (для жилого здания);

г) зона влажности места строительства – *нормальная*, определена по «Карте зон влажности» СП 50.13330;

д) средняя годовая температура наружного воздуха $t_n^{год} = 4,2$ °С определена по табл. 5.1 СП 131.13330;

е) среднее годовое парциальное давление водяного пара наружного воздуха, $e_n = 730$ Па определено по табл. 7.1 СП 131.13330.

2. Параметры внутренней среды помещений

Расчетные параметры внутренней среды помещений установлены для жилого здания:

а) температура внутреннего воздуха $t_g = 20$ °С определена по ГОСТ 30494;

б) относительная влажность внутреннего воздуха $\varphi_g = 55\%$ определена по СП 50.13330 как для помещений жилых зданий.

Температура внутреннего воздуха t_g и его относительная влажность φ_g определяют влажностный режим помещений как *нормальный* (согласно табл. 1 СП 50.13330).

3. Определение влажностных условий эксплуатации ограждающих конструкций

Влажностные условия эксплуатации ограждающих конструкций определены в зависимости от *нормального* влажностного режима помещения (п. 2) и *нормальной* зоны влажности места строительства (п. 1, г) как **Б** (согласно табл. 2 СП 50.13330). В соответствии с этим принимаем теплотехнические характеристики материалов по графе Б – λ_B и S_B .

4. Требуемое сопротивление теплопередаче R_0^{mp}

Климатические условия места строительства определяются градусо-сутками отопительного периода ГСОП:

$$ГСОП = (t_e - t_{om}) \cdot z_{om} = (20 - (-4,8)) \cdot 208 = 5158,4 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут.}$$

Значение ГСОП отличается от табличных значений (табл. 3 СП 50.13330), в связи с чем воспользуемся приложением к ней. Так как в заданных узлах 1 и 4 представлено два типа ограждающих конструкций: стена и покрытие, требуемое сопротивление теплопередаче определим для каждого из них:

для стен:

$$R_0^{mp} = a \cdot ГСОП + b = 0,00035 \cdot 5158,4 + 1,4 = 3,2 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C},$$

где $a = 0,00035$ и $b = 1,4$ приняты для стен жилых зданий.

для покрытия:

$$R_0^{mp} = 0,0005 \cdot 5158,4 + 2,2 = 4,8 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C},$$

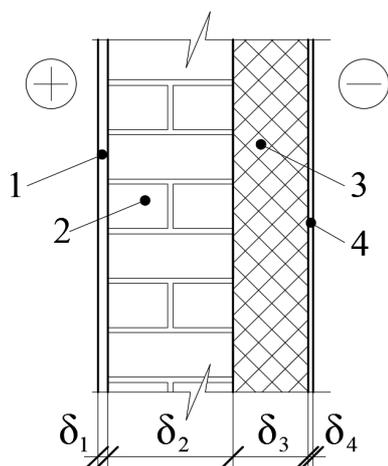
где $a = 0,0005$ и $b = 2,2$ приняты для покрытий жилых зданий.

5. Разработка конструктивного решения наружных стен и определение основных параметров теплозащиты

5.1. Выбор конструктивной схемы наружной стены

Для детальной разработки задана двухслойная конструкция наружной стены с облицовочным штукатурным слоем – система скрепленной теплоизоляции. Схема этой конструкции приведена на рис. Д1.

Конструктивная система здания – каркасная. Наружная стена в пределах каждого этажа опирается на железобетонное перекрытие.



- 1 – внутренняя штукатурка
- 2 – конструкционный слой
- 3 – теплоизоляционный слой
- 4 – наружная штукатурка

Рис. Д1. Конструкция наружной стены

5.2. Подбор материалов и изделий

Материалы для функциональных слоев приняты по приложению С СП 50.13330.2012 и приведены в табл. Д1.

Таблица Д1

Теплотехнические характеристики материалов наружной стены

№ слоя	Наименование материала	Плотность ρ , кг/м ³	Теплопроводность λ_B , Вт/(м·°С)	Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	Теплоусвоение S_B , Вт/(м ² ·°С)
1	Внутренняя штукатурка: раствор сложный (песок, известь, цемент)	1700	0,87	0,098	10,42
2	Конструкционный слой: кладка из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе	1800	0,81	0,11	10,12
3	Теплоизоляция: плиты минераловатные из каменного волокна	100	0,045	0,32	0,59
4	Наружная штукатурка: раствор цементно-песчаный	1800	0,93	0,09	11,09

5.3. Обеспечение необходимого сопротивления теплопередаче по глади наружной стены

Зададимся толщинами функциональных слоев:

внутренняя штукатурка – $\delta_1 = 20 \text{ мм} = 0,02 \text{ м}$;

конструкционный слой из кирпича – $\delta_2 = 250 \text{ мм} = 0,25 \text{ м}$;

наружная штукатурка – $\delta_4 = 10 \text{ мм} = 0,01 \text{ м}$.

Толщину теплоизоляционного слоя δ_3 определим по формуле:

$$R_{mo} = R_{me} + R_{mk} + R_{mi} = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_n} = R_0^{mp},$$
$$\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,25}{0,81} + \frac{\delta_3}{0,045} + \frac{0,01}{0,93} + \frac{1}{23} = 3,2,$$
$$\frac{\delta_3}{0,045} = 2,7,$$
$$\delta_3 = 0,122 \text{ м}.$$

Так как плиты из минеральной ваты выпускают ограниченного типоразмера, принимаем толщину плиты теплоизоляции $0,15 \text{ м} = 15 \text{ см}$.

Уточняем сопротивление теплопередаче наружной стены с $\delta_3 = 0,15 \text{ м}$:

$$R_{mo} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,25}{0,81} + \frac{0,15}{0,045} + \frac{0,01}{0,93} + \frac{1}{23} = 3,8 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C) / Вт},$$
$$R_{mo} = 3,8 > R_0^{mp} = 3,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C) / Вт}.$$

Условие обеспечения необходимого сопротивления теплопередаче по глади наружной стены выполняется.

5.3.1. Уточнение расчетной температуры наружного воздуха

Рассчитаем тепловую инерцию проектируемой наружной стены:

$$D = \sum R_i S_i = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} S_i = \frac{0,02}{0,87} 10,42 + \frac{0,25}{0,81} 10,12 + \frac{0,15}{0,045} 0,59 + \frac{0,01}{0,93} 11,09 = 5,45$$

Так как $4 \geq 5,45 < 7$, то согласно п. 1а) t_n принимается как средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью $0,98$ по СП 131.13330 «Строительная климатология»:

$$t_n = -33 \text{ °C}.$$

5.4. Защита от переувлажнения ограждающих конструкций

5.4.1. Определение плоскости максимального увлажнения

Разделяем проектируемую конструкцию наружной стены на две зоны по плоскости максимального увлажнения, которая располагается на границе облицовочного и теплоизоляционного слоев согласно п. 5.4.1 и рис. Д2.

5.4.2. Определение дополнительных расчетных данных

1. Парциальное давление насыщенного водного пара внутреннего воздуха:

$$E_g = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,72^{-5330/(273+20)} = 2291 \text{ Па}.$$

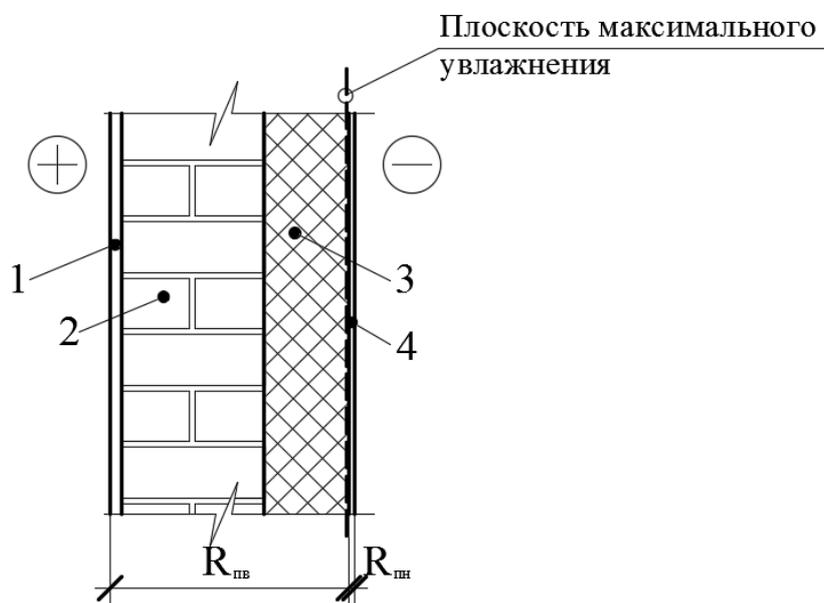


Рис. Д2. Плоскость максимального увлажнения

2. Парциальное давление водного пара внутреннего воздуха:

$$e_g = \frac{\varphi_g \cdot E_g}{100} = \frac{55 \cdot 2291}{100} = 1260 \text{ Па}.$$

3. Сопротивление паропрооницанию наружных слоев до плоскости максимального увлажнения:

$$R_{нн} = \frac{\delta_n}{\mu_n} = \frac{0,01}{0,09} = 0,11 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па) / мг}.$$

4. Температура в плоскости максимального увлажнения при температуре наружного воздуха t_n^{zod} :

$$t_x = t_n^{zod} + \frac{t_g - t_n^{zod}}{R_{mo}} \cdot \left(\frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_n} \right) = 4,2 + \frac{20 - 4,2}{3,8} \cdot \left(\frac{0,01}{0,93} + \frac{1}{23} \right) = 4,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

5. Парциальное давление насыщенного водного пара в плоскости максимального увлажнения при температуре наружного воздуха t_n^{zod} :

$$E_x = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,72^{-5330/(273+4.4)} = 825 \text{ Па}.$$

5.4.3. Требуемое сопротивление паропроницанию внутренних слоев

Определяем требуемое сопротивление паропроницанию внутренних слоев:

$$R_{не}^{mp} = \frac{(e_e - E_x) \cdot R_{ин}}{E_x - e_n} = \frac{(1260 - 825) \cdot 0,11}{825 - 730} = 0,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па) / мг};$$

Определяем сопротивление паропроницанию внутренних слоев

$$R_{не} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0,02}{0,098} + \frac{0,25}{0,11} + \frac{0,15}{0,32} = 2,9 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па) / мг}.$$

Проверяем условие

$$R_{не} \geq R_{не}^{mp}, \\ 2,9 \geq 0,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па) / мг}.$$

Условие защиты от переувлажнения ограждающей конструкции выполняется.

5.5. Обеспечение санитарно-гигиенических показателей тепловой защиты

5.5.1. Обеспечение теплового комфорта в помещении

Определим расчетный перепад Δt_0 между температурой внутреннего воздуха t_e и температурой внутренней поверхности наружной стены по глади τ_e :

$$\Delta t_0 = \frac{n \cdot (t_e - t_n)}{R_{mo} \cdot \alpha_e} = \frac{1 \cdot (20 - (-33))}{3,8 \cdot 8,7} = 1,6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Оценка соответствия теплового комфорта в помещении нормативным требованиям идет путем сравнения расчетного перепада температур Δt_0 с нормируемым Δt_n ($\Delta t_n = 4,0 \text{ }^\circ\text{C}$ для жилых зданий):

$$\Delta t_0 = 1,6 < \Delta t_n = 4,0 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Условие обеспечения теплового комфорта выполняется.

5.5.2. Обеспечение недопустимости выпадения конденсата на внутренних поверхностях наружных стен

Температура внутренней поверхности ограждающей конструкции в местах теплотехнических неоднородностей τ_e' должна быть не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха t_p при расчетной температуре наружного воздуха $-t_n$ $^\circ\text{C}$:

$$\tau_e' > t_p.$$

Определим величину температуры точки росы t_p при температуре t_g и относительной влажности φ_g внутреннего воздуха по приложению В:

$$t_p = 10,69 \text{ }^\circ\text{C при } t_g = 20 \text{ }^\circ\text{C и } \varphi_g = 55 \text{ \%}.$$

Для определения величины температуры τ_g' для заданных узлов 1 и 4 необходимо произвести расчет температурных полей. С этой целью необходимо разработать конструкцию данных узлов (рис. Д3).

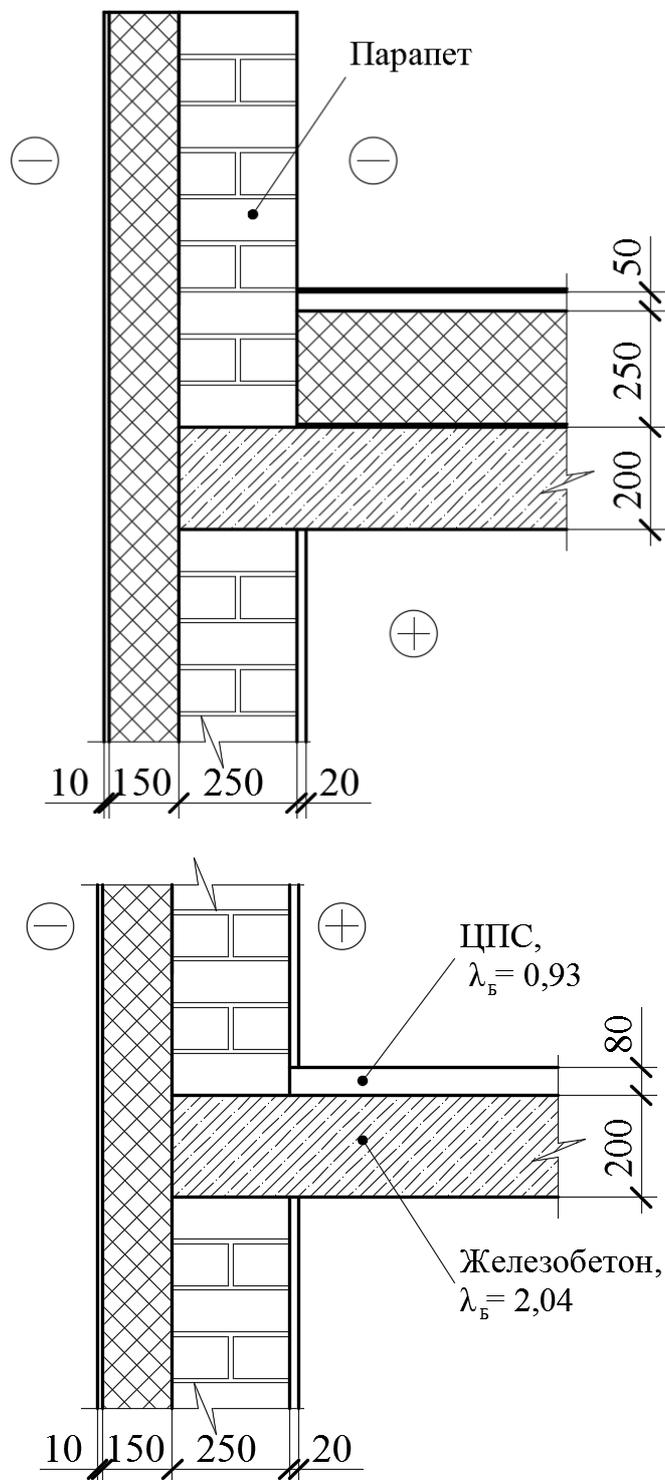


Рис. Д3. Конструкции узлов 1 и 4

В узле 1 помимо конструкции наружной стены присутствует конструкция покрытия. Запроектируем конструкцию покрытия аналогично по п. 5.2.

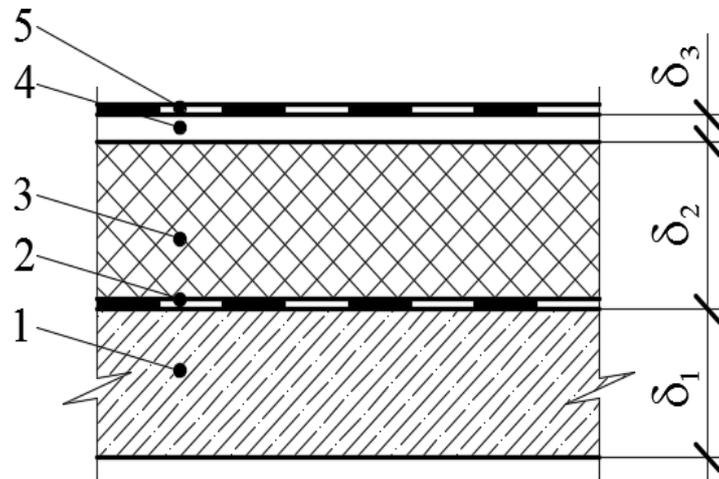


Рис. Д4. Конструкция покрытия

Таблица Д2

Теплотехнические характеристики материалов покрытия

№ слоя	Наименование материала	Плотность ρ , кг/м ³	Теплопроводность λ_b , Вт/(м·°С)	Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)	Теплоусвоение S_b , Вт/(м ² ·°С)
1	Плита перекрытия: железобетон	2500	2,04	0,03	18,95
2	Пароизоляция				
3	Теплоизоляция: плиты минераловатные из каменного волокна	100	0,045	0,32	0,59
4	Цементно-песчаная стяжка: раствор цементно-песчаный	1800	0,93	0,09	11,09
5	Гидроизоляция: 4 слоя гидроизола				

Толщины функциональных слоев:

железобетонная плита перекрытия – $\delta_1 = 200 \text{ мм} = 0,2 \text{ м}$;

цементно-песчаная стяжка – $\delta_4 = 50 \text{ мм} = 0,05 \text{ м}$.

Толщиной и сопротивлением теплопередаче слоев пароизоляции и гидроизоляционного ковра пренебрежем в силу их малых значений.

Толщину теплоизоляционного слоя δ_3 определим по формуле:

$$R_{mo} = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_n} = R_0^{mp},$$

$$\frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{2,04} + \frac{\delta_3}{0,045} + \frac{0,05}{0,93} + \frac{1}{23} = 4,8,$$

$$\frac{\delta_3}{0,045} = 4,5, \quad \delta_3 = 0,21 \text{ м.}$$

Принимаем толщину плиты теплоизоляции $0,25 \text{ м} = 25 \text{ см}$.

Уточняем сопротивление теплопередаче покрытия с $\delta_2 = 0,25 \text{ м}$:

$$R_{mo} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{2,04} + \frac{0,25}{0,045} + \frac{0,05}{0,93} + \frac{1}{23} = 5,9 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C) / Вт.}$$

Расчет температурных полей выполним в программе Elcut.

На рис. Д5 и Д6 представлены результаты расчета: графики распределения температур по внутренней поверхности узлов.

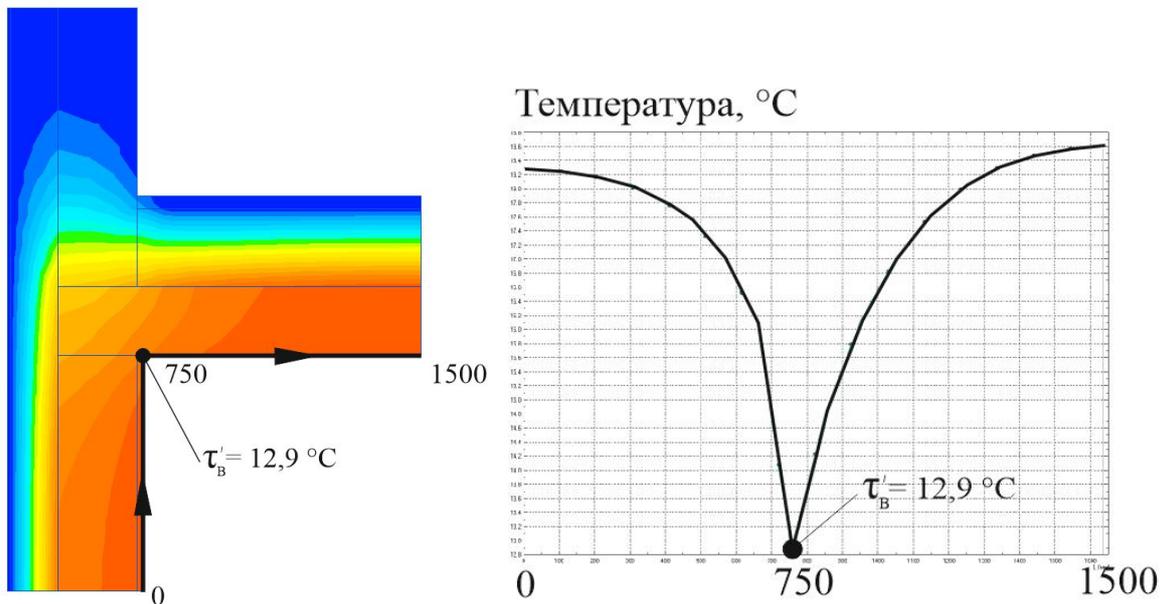


Рис. Д5. Температурное поле и график распределения температур по внутренней поверхности узла 1

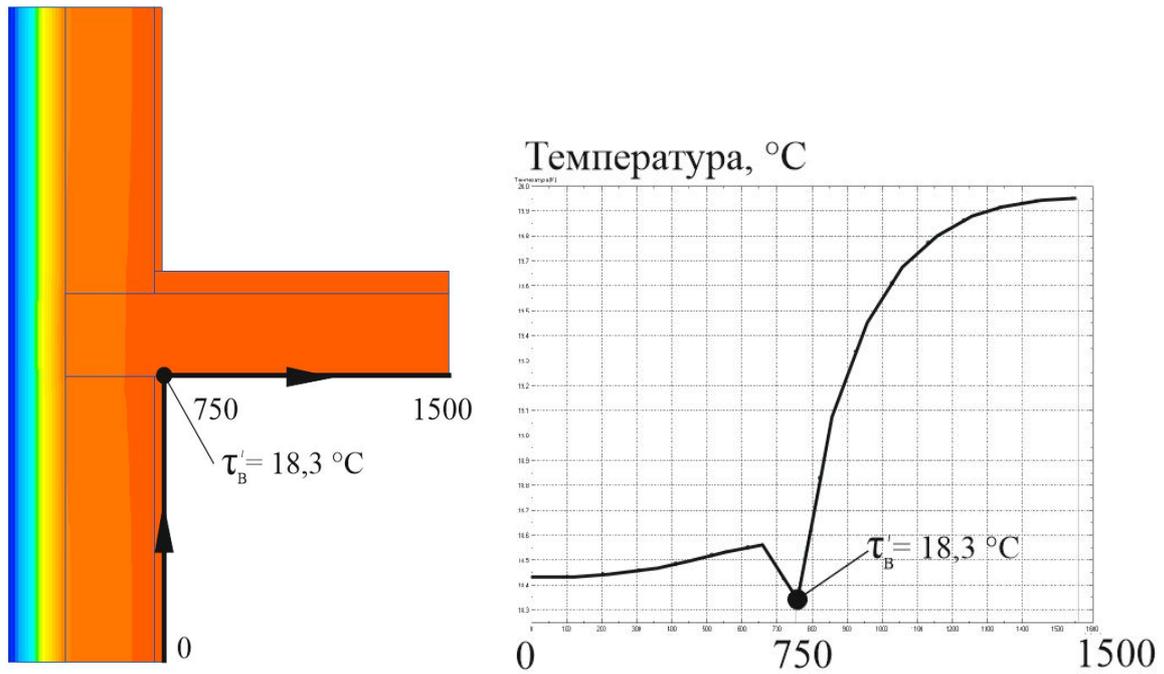


Рис. Д6. Температурное поле и график распределения температур по внутренней поверхности узла 4

Минимальные температуры поверхностей для данных узлов следующие:

для узла 1:
 $\tau'_s = 12,9 \text{ °C} > t_p = 10,69 \text{ °C};$

для узла 2:
 $\tau'_s = 18,3 \text{ °C} > t_p = 10,69 \text{ °C}.$

Условие недопустимости выпадения конденсата для каждого узла выполняется.

Результаты расчета представим в сводной табл. Д3.

Сводная таблица результатов расчета

№ п/п	Наименование параметров, размерность	Величина	Условия соответствия нормам	Заключение о соответствии
1	Сопротивление теплопередаче, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}) / \text{Вт}$; – по глади стены $R_{\text{то}}$ – требуемое $R_0^{\text{мп}}$	3,8 3,2	$R_{\text{то}} \geq R_0^{\text{мп}}$ $3,8 > 3,2$	Соответствует
2	Разность температур $\Delta t_0 = (t_e - \tau_e)$ – Δt_0 по расчету – Δt_n по норме СП	1,6 4,0	$\Delta t_0 \leq \Delta t_n$ $1,6 < 4,0$	Соответствует
3	Температуры t_p и τ_e' , $^\circ\text{С}$ – температура точки росы t_p – температура внутренней поверхности в узле 1, τ_e' – температура внутренней поверхности в узле 2, τ_e'	10,69 12,9 18,3	$\tau_e' > t_p$ $12,9 > 10,69$ $18,3 > 10,69$	Соответствует Соответствует
4	Сопротивление паропроницанию внутренних слоев, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}) / \text{мг}$; – $R_{\text{не}}$ по расчету – требуемое $R_{\text{не}}^{\text{мп}}$	2,9 0,5	$R_{\text{не}} \geq R_{\text{не}}^{\text{мп}}$ $2,9 > 0,5$	Соответствует

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ
НАРУЖНЫХ СТЕН И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОЗАЩИТЫ**

Методические указания к выполнению самостоятельной работы для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство», по дисциплинам «Физика среды и ограждающих конструкций» и «Строительная физика»

Издание 2-е, дополненное и переработанное

Составители: Куприянов Валерий Николаевич
Иванцов Алексей Игоревич
Сафин Ильдар Шавкатович

Дизайн обложки Иванцов А.И.