

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Экология и энергоэффективность в техносфере»

С. Н. КОЛДАЕВА, С. П. МОХАРЕВА

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

*Одобрено методической комиссией строительного факультета
в качестве учебно-методического пособия для выполнения курсовой работы
для студентов строительных специальностей*

Гомель 2016

УДК 624.01/.04 (075.8)
ББК 38.5
К60

Рецензент – ведущий научный сотрудник ЧНПУП «Институт инновационных исследований» канд. техн. наук *А. Н. Екименко*

Колдаева, С. Н.

К60 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций : учеб.-метод. пособие / С. Н. Колдаева, С. П. Мохарева ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 57 с.
ISBN 978-985-354-474-7

Приведены указания по выполнению расчета теплового и влажностного режима ограждающих конструкций зданий. Представлены методики и примеры расчета тепловой инерции, сопротивления теплопередаче однородных и неоднородных конструкций, температурного поля в многослойной конструкции, а также сопротивления паро- и воздухопроницанию.

Предназначено для студентов строительных специальностей дневной формы обучения.

УДК 624.01/.04 (075.8)
ББК 38.5

ISBN 978-985-354-474-7

© Колдаева С. Н., Мохарева С. П., 2016
© Оформление. УО «БелГУТ», 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	45
1 Основные положения теплотехнического проектирования ограждающих конструкций	46
2 Расчетные условия	47
3 Расчет сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций	50
4 Расчет температурного поля и определение глубины промерзания многослойной ограждающей конструкции.....	67
5 Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций.....	71
6 Сопротивление паропроницанию ограждающих конструкций	74
7 Выбор задания. Требования к оформлению и содержанию курсовой работы	83
Список литературы	87
Приложение А Схемы конструкций горизонтальных перекрытий зданий.....	88
Приложение Б Схемы вертикальных ограждающих конструкций зданий	93
Приложение В Высота зданий от поверхности земли до верха карниза для расчета сопротивления воздухопроницанию	98
Приложение Г Пример оформления бланка задания	99

ВВЕДЕНИЕ

Важное место в решении задач по экономии топливно-энергетических ресурсов занимает сокращение расхода тепла на отопление зданий. Теплотери зданий определяются сопротивлением теплопередаче наружных ограждающих конструкций и до настоящего времени неоправданно велики.

Для Республики Беларусь, которая вынуждена расходовать значительную часть национального дохода на приобретение топливно-энергетических ресурсов, проблема снижения теплотрат весьма актуальна.

Поскольку отопление необходимо для создания требуемого микроклимата помещений, потребное количество тепла определяется санитарными нормами. С целью приведения здания к оптимальному энергопотреблению необходимо конструктивно обеспечить требуемые теплофизические характеристики его оболочки.

Целью данного пособия является формирование у студентов навыков теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий, определения теплового и влажностного режимов в рассчитываемых помещениях, а также навыков конструктивной корректировки оболочки здания в случае несоответствия его характеристик санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым к ограждающим конструкциям и помещению.

1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

При проектировании ограждающих конструкций зданий и сооружений необходимо соблюдать требования строительных норм Республики Беларусь [1] "Строительная теплотехника", других нормативных документов и руководствоваться требованиями настоящего пособия.

Ограждающие конструкции совместно с системами инженерного оборудования (отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха) должны обеспечивать нормируемые параметры микроклимата помещений при минимальном энергопотреблении.

При проектировании ограждающих конструкций следует учитывать взаимовлияние их и систем инженерного оборудования.

Наружные ограждающие конструкции с целью значительного повышения их теплозащитных качеств следует конструировать, как правило, многослойными, разделяя между составляющими их слоями прочностные и теплофизические функции. При этом отдельные слои конструкции могут частично совмещать вышеуказанные функции.

При расположении слоев в многослойной наружной ограждающей конструкции следует соблюдать следующие рекомендации.

Материалы с более высокими коэффициентами теплопроводности и теплоусвоения и более низким коэффициентом паропроницаемости целесообразно располагать в конструкции со стороны помещения, а материалы с более низкими коэффициентами теплопроводности и теплоусвоения и более высоким коэффициентом паропроницаемости – с наружной стороны, что обеспечивает более высокую температуру внутренней поверхности в местах теплопроводных включений и узлах сопряжения ограждающих конструкций (стен между собой, стен и перекрытий и др.), повышает теплоустойчивость ограждающих конструкций и помещений при колебаниях температуры наружного воздуха и теплоотдачи отопительных приборов в системах отопления периодического действия, а также улучшает влажностный режим материалов в конструкции. При этом наружный слой должен отвечать требованиям действующих нормативных документов по огнестойкости и морозостойкости.

При выполнении наружного слоя ограждающей конструкции из материала с более высоким коэффициентом теплопроводности и более низким коэффициентом паропроницаемости, чем у материала внутреннего слоя конструкции, целесообразно предусматривать устройство воздушной про-

слойки, вентилируемой наружным воздухом и располагаемой между наружным слоем конструкции и основными ее слоями.

Толщина вентилируемой воздушной прослойки в покрытиях должна быть не менее 150 мм, в наружных стенах – в пределах 50–100 мм.

При конструировании наружных ограждающих конструкций с замкнутыми воздушными прослойками следует иметь ввиду:

- располагать воздушные прослойки рекомендуется ближе к наружной стороне ограждающей конструкции;

- целесообразно сделать несколько воздушных прослоек меньшей толщины, чем одну суммарной толщины;

- замкнутые воздушные прослойки должны иметь высоту не более высоты этажа или не более 3,6 м;

- толщину замкнутых воздушных прослоек рекомендуется предусматривать в пределах 15–30 мм;

- в наружных стенах зданий с мокрым и влажным режимом устраивать замкнутые воздушные прослойки не следует.

При проектировании крупнопанельных (объемно-блочных) зданий необходимо стремиться к тому, чтобы сопротивление теплопередаче стыков панелей (блок-комнат) по возможности было не ниже сопротивления теплопередаче наружной стеновой панели (наружной стены блок-комнаты).

При конструировании ограждающих конструкций необходимо предусматривать мероприятия по предотвращению увлажнения материалов в конструкции за счет воздействия атмосферной и грунтовой влаги, влаги производственных и хозяйственно-бытовых процессов и проникания внутрь ограждения водяного пара.

2 РАСЧЕТНЫЕ УСЛОВИЯ

Расчетные значения параметров внутреннего и наружного воздуха для теплотехнических расчетов ограждающих конструкций определяют следующим образом.

Расчетные температуру и относительную влажность внутреннего воздуха принимают по таблице 4.1 [1] для помещений жилых, общественных, административных и бытовых зданий и сооружений. Расчетные температуру и относительную влажность внутреннего воздуха для помещений производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий, а также сельскохозяйственных и складских помещений и сооружений принимают по СНиП 2.04.05 или нормам технологического проектирования соответствующих зданий.

Расчетную зимнюю температуру наружного воздуха предварительно принимают по таблице 4.3 [1] с учетом тепловой инерции ограждающей

конструкции по таблице 5.2 [1]. При этом величину тепловой инерции рассчитывают по формуле (3) [1], исходя из значения нормативного сопротивления теплопередаче соответствующей конструкции по таблице 5.1 [1].

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + \dots + R_n S_n ,$$

где R_1, R_2, \dots, R_n – термические сопротивления отдельных слоев конструкции, определяемые по формуле (4) [1];

S_1, S_2, \dots, S_n – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала слоев конструкции в условиях эксплуатации согласно таблице 4.2 [1], принимаемые по таблице А.1 [1].

После расчета сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции уточняют ее тепловую инерцию. Затем при необходимости уточняют значение расчетной зимней температуры наружного воздуха и пересчитывают сопротивление теплопередаче.

Влажностный режим помещений и условия эксплуатации ограждающих конструкций зданий и сооружений в зимний период принимают по таблице 4.2 [1] в зависимости от температуры и относительной влажности внутреннего воздуха.

Среднюю температуру наружного воздуха за отопительный период и его продолжительность принимают по таблице 4.4 [1].

Среднюю относительную влажность наружного воздуха по месяцам принимают по таблице 4.7 [1].

Наибольшую из средних скоростей ветра по румбам с повторяемостью 16 % и более по месяцам зимнего периода принимают по таблице 4.5 [1].

Пример расчета 2.1

Необходимо определить расчетную зимнюю температуру наружного воздуха для последующего определения требуемого сопротивления теплопередаче наружной стены жилого дома крупнопанельного домостроения (КПД) с трехслойными железобетонными панелями с утеплителем из полистирольного пенопласта плотностью 25 кг/м^3 и бетонными слоями из тяжелого бетона плотностью 2400 кг/м^3 для Могилевской области.

Расчетная температура внутреннего воздуха – $18 \text{ }^\circ\text{C}$, относительная влажность – 55% (таблица 4.1 [1]).

Режим помещений – нормальный, условия эксплуатации ограждающих конструкций – Б (таблица 4.2 [1]).

Определяем тепловую инерцию конструкции исходя из значения нормативного сопротивления теплопередаче, которое в соответствии с таблицей 5.1 [1] для наружных стен КПД составляет $3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C/Вт}$.

Термическое сопротивление отдельных слоев панели составляет:
– для бетонных слоев по формуле (4) [1]

$$R_1 = \frac{\delta_1 + \delta_2}{\lambda_1} = \frac{0,08 + 0,06}{1,86} = 0,075 \text{ м}^2 \cdot \text{°/Вт},$$

где δ_1 и δ_2 – толщина внутреннего и наружного бетонных слоев, соответственно 80 и 60 мм;

λ_1 – коэффициент теплопроводности тяжелого бетона, равный 1,86 Вт/(м·°С) (таблица А.1 [1]);

– для утеплителя

$$R = 3,2 - \left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + R_1 \right) = 3,2 - \left(\frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + 0,075 \right),$$

где $\alpha_{\text{в}}$ и $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей, соответственно 8,7 и 23 Вт/(м²·°С) (таблица 5.7 [1]).

Тепловая инерция по формуле (3) [1]

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 = 0,075 \cdot 17,88 + 2,297 \cdot 0,39 = 2,285 \text{ Вт/°С},$$

где S_1 и S_2 – коэффициенты теплоусвоения бетона и пенополистирола, соответственно 17,88 и 0,39 Вт/(м²·°С) (таблица А.1 [1]).

В соответствии с таблицей 5.2 [1] при тепловой инерции ограждающей конструкции в пределах 1,5–4,0 Вт/°С в качестве расчетной зимней температуры наружного воздуха принимают температуру наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92, которая для Могилевской области составляет минус 29 °С (таблица 4.3 [1]).

После расчета сопротивления теплопередаче панели необходимо уточнить значение ее тепловой инерции D . Если оно не укладывается в пределы 1,5–4,0 Вт/°С, принимают расчетную зимнюю температуру наружного воздуха, соответствующую новому значению тепловой инерции D , и производят перерасчет сопротивления теплопередаче.

3 РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Ограждающие конструкции зданий должны иметь определенное значение сопротивления теплопередаче, от которого зависят затраты на эксплуатацию зданий и санитарно-гигиенические условия помещений.

Наружные ограждающие конструкции, за исключением заполнения проемов (окон, фонарей, витрин, дверей, ворот) и ограждающих конструкций помещений, в которых имеются избытки явной теплоты, должны иметь сопротивление теплопередаче $R_{т,тр}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, равное экономически целесообразному, но не менее требуемого сопротивления теплопередаче, определяющего санитарно-гигиенические условия, и не менее нормативного сопротивления теплопередаче, установленного ТКП 45-2.04-43-2006.

Порядок расчета сопротивления теплопередаче

1 Определяют требуемое сопротивление теплопередаче, $R_{т,тр}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, по формуле (2) [1]

$$R_{т,тр} = \frac{n(t_{в} - t_{н})}{\alpha_{в} \Delta t_{в}}$$

где $t_{в}$ и $t_{н}$ – расчетные температуры, °C , внутреннего и наружного воздуха, определяемые в соответствии с разделом 2 настоящего пособия;

n – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху (принимается по таблице 5.3 [1]);

$\alpha_{в}$ – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$, внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по таблице 5.4 [1];

$\Delta t_{в}$ – расчетный перепад, °C , между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по таблице 5.5 [1].

2 Определяют экономически целесообразное сопротивление теплопередаче $R_{т,эк}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, по формуле (1) [1]

$$R_{т,эк} = 0,5 \cdot R_{т,тр} + \frac{5,4 \cdot 10^{-4} C_{тз} Z_{от} (t_{н,от} - t_{н,от})}{C_{м} \lambda R_{т,тр}}$$

где $C_{тз}$ – стоимость тепловой энергии, $\text{руб.}/\text{ГДж}$;

$Z_{от}$ – продолжительность отопительного периода, сут. , принимаемая по таблице 4.4 [1];

- $t_{н\text{от}}$ – средняя за отопительный период температура наружного воздуха, °С, принимаемая по 4.4 [1];
- C_m – стоимость материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции, принимаемая по действующим ценам, руб./м³;
- λ – коэффициент теплопроводности материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции в условиях эксплуатации, Вт/(м·°С), принимаемый по таблице А.1 [1] в зависимости от расчетной температуры и относительной влажности внутреннего воздуха.

При наличии в теплоизоляционном слое ограждающей конструкции сквозных включений из материалов с большим, чем у материала этого слоя, коэффициентом теплопроводности для определения экономически целесообразного сопротивления теплопередаче принимают *приведенный коэффициент теплопроводности слоя*, определяемый по формуле

$$\lambda_{пр} = \frac{\lambda_1 F_1 + \lambda_2 F_2}{F_1 + F_2},$$

где λ_1 и F_1 – соответственно коэффициент теплопроводности и площадь участка, занимаемого теплоизоляционным материалом;

λ_2 и F_2 – соответственно коэффициент теплопроводности и площадь участка, занимаемого материалом включений.

3 Нормативное значение сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций $R_{т\text{норм}}$, м²·°С/Вт, приведено в таблице 5.1 [1].

Расчет наружной ограждающей конструкции производят по большему из трех определенных значений сопротивлений теплопередаче.

Сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций (кроме заполнений проемов) помещений с избытками явной теплоты должно быть не менее требуемого сопротивления теплопередаче по санитарно-гигиеническим условиям, определяемого по формуле (2) [1].

Сопротивление теплопередаче наружных дверей и ворот должно быть не менее 0,6 значения требуемого сопротивления теплопередаче наружных стен, определенного по формуле (2) [1] при расчетной зимней температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

Сопротивление теплопередаче заполнений наружных световых проемов должно быть не менее требуемого сопротивления теплопередаче, приведенного в таблице 5.6 [1]. При этом заполнения наружных световых прое-

мов (кроме помещений с избытками явной теплоты) должны иметь сопротивление теплопередаче не менее нормативного (таблица 5.1 [1]):

$$R_{т\text{ норм}} = 1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Сопротивление теплопередаче R_t , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, ограждающей конструкции (кроме заполнений световых проемов) определяют по формуле (5) [1]

$$R_t = \frac{1}{\alpha_{в}} + R_k + \frac{1}{\alpha_{н}},$$

где R_k – термическое сопротивление, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, ограждающей конструкции;

$\alpha_{н}$ – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий, принимаемый по таблице 5.7 [1].

Термическое сопротивление однослойной однородной ограждающей конструкции, а также однородного слоя многослойной конструкции определяют по формуле (4) [1]:

$$R_k = \frac{\delta}{\lambda},$$

где δ – толщина однослойной однородной конструкции или слоя многослойной конструкции, м.

Термическое сопротивление многослойной ограждающей конструкции с однородными слоями определяют по формуле (6) [1]:

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n,$$

где R_1, R_2, \dots, R_n – термические сопротивления отдельных слоев конструкции, определяемые по формуле (4) [1], либо термические сопротивления замкнутых воздушных прослоек, принимаемые по таблице Б.1 [1]

Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, в расчете не учитываются.

Термическое сопротивление неоднородной ограждающей конструкции (например, каменной стены колодцевой кладки с теплоизоляционными вкладышами и т.п.) определяют следующим образом:

1) плоскостями, *параллельными направлению теплового потока*, ограждающую конструкцию (или часть ее) условно разрезают на участки, из ко-

торых одни могут быть однородными – из одного материала, а другие – неоднородными – из слоев различных материалов, и определяют термическое сопротивление R_A , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, конструкции по формуле (7) [1]:

$$R_A = \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_n}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \dots + \frac{F_n}{R_n}},$$

где F_1, F_2, \dots, F_n – площади отдельных участков конструкции, м^2 ;

R_1, R_2, \dots, R_n – термические сопротивления отдельных участков конструкции, определяемые по формуле (4) для однородных участков и по формуле (6) – для неоднородных;

2) плоскостями, *перпендикулярными направлению теплового потока*, ограждающую конструкцию (или часть ее, принятую для определения R_A) условно разрезают на слои, из которых одни могут быть однородными – из одного материала, а другие – неоднородными – из однослойных участков разных материалов.

Определяют термическое сопротивление однородных слоев по формуле (4) [1], неоднородных слоев – по формуле (7) [1] и затем термическое сопротивление R_B конструкции – по формуле (6) [1] как сумму термических сопротивлений отдельных однородных и неоднородных слоев;

3) если величина R_A не превышает величину R_B более, чем на 25 %, определяют термическое сопротивление ограждающей конструкции по формуле (8) [1]:

$$R_k = \frac{R_A + 2R_B}{3};$$

4) если величина R_A превышает величину R_B более чем на 25 % или ограждающая конструкция не является плоской, то термическое сопротивление такой конструкции определяют на основании расчета температурного поля следующим образом:

– при расчетных значениях температуры внутреннего t_B и наружного t_H воздуха определяют средние температуры, °C , внутренней $t_{\text{вп}}$ и наружной $t_{\text{нп}}$ поверхностей ограждающей конструкции и вычисляют величину теплового потока через конструкцию q , $\text{Вт}/\text{м}^2$, по формуле (9) СНБ 2.01.01

$$q = \alpha_B \left(t_B - t_{\text{вп}} \right) = \alpha_H \left(t_{\text{нп}} - t_H \right);$$

– термическое сопротивление ограждающей конструкции определяют по формуле (10) [1]

$$R_k = \frac{t_{вп} - t_{вн}}{q}.$$

Если наружная ограждающая конструкция имеет теплопроводные включения, то температура ее внутренней поверхности в местах таких включений должна быть не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха при расчетных значениях его температуры и относительной влажности и расчетной зимней температуры наружного воздуха.

Пример расчета 3.1

Требуется рассчитать сопротивление теплопередаче и толщину теплоизоляционного слоя кирпичной стены жилого дома с теплоизоляционным слоем из торкрет-полистиролбетона для климатических условий Минской области. Конструктивное решение стены приведено на рисунке 3.1.

Стена выполнена из керамического кирпича, толщина кладки – 380 мм, плотность в сухом состоянии – 1600 кг/м³. С наружной стороны стены выполнен теплоизоляционный слой из торкрет-полистиролбетона плотностью 500 кг/м³. С внутренней стороны стена оштукатурена известково-песчаным раствором толщиной 20 мм, плотностью 1600 кг/м³.

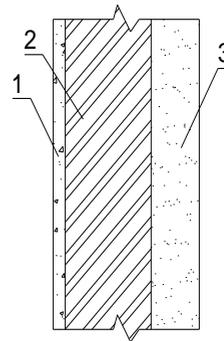


Рисунок 3.1 – Наружная стена жилого здания:

1 – известково-песчаная штукатурка, $\delta = 20$ мм; 2 – кирпичная кладка, $\delta = 380$ мм; 3 – торкрет-полистиролбетон, $\delta = 150$ мм

Согласно таблице 4.1 [1] расчетная температура внутреннего воздуха $t_{в} = 18$ °С, относительная влажность $\phi_{в} = 55$ %.

Влажностный режим помещений – нормальный, условия эксплуатации ограждающих конструкций – «Б» (таблица 4.2 [1]).

Расчетные значения коэффициентов теплопроводности λ и теплоусвоения S материалов принимаем по таблице 4.1 [1] для условий эксплуатации ограждений «Б»:

- известково-песчаный раствор $\lambda_1 = 0,81$ Вт/(м·°С), $S_1 = 9,76$ Вт/(м²·°С);
- полистиролбетон $\lambda_2 = 0,11$ Вт/(м·°С), $S_2 = 2,06$ Вт/(м²·°С);
- кирпичная кладка $\lambda_3 = 0,78$ Вт/(м·°С), $S_3 = 8,48$ Вт/(м²·°С).

Нормативное сопротивление теплопередаче для наружных стен из штучных материалов согласно таблице 5.1 [1] равно $3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Для определения тепловой инерции стены находим термические сопротивления отдельных слоев конструкции:

– известково-песчаной штукатурки

$$R_1 = \frac{0,02}{0,81} = 0,024 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

– кирпичной кладки

$$R_2 = \frac{0,38}{0,78} = 0,487 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

– полистиролбетонного слоя

$$R_3 = 3,2 - (0,115 + 0,024 + 0,487 + 0,043) = 2,531 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Определяем тепловую инерцию стены по формуле (3) [1]

$$D = 0,024 \cdot 9,76 + 0,487 \cdot 8,48 + 2,531 \cdot 2,06 = 8,306 \text{ Вт} \cdot \text{°C}.$$

Согласно таблице 5.2 [1] для ограждающей конструкции с тепловой инерцией свыше 7 за расчетную зимнюю температуру наружного воздуха следует принимать среднюю температуру наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92: для Минской области $t_n = -24 \text{ °C}$ (таблица 4.3 [1]).

Определяем требуемое сопротивление теплопередаче стены по формуле (2) [1]:

$$R_{т\text{тр}} = \frac{n \cdot (t_{в} - t_n)}{\alpha_{в} \Delta t_{в}} = \frac{1 \cdot (8 + 24)}{8,7 \cdot 6} = 0,805 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт},$$

где $n = 1$ (таблица 5.8 [1]);

$\alpha_{в} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ (таблица 5.4 [1]);

$\Delta t_{в} = 6 \text{ °C}$ (таблица 5.5 [1]).

Определяем экономически целесообразное сопротивление теплопередаче $R_{т\text{эк}}$ по формуле (1) [1]:

$$R_{тж} = 0,5 \cdot R_{тгр} + \frac{5,4 \cdot 10^{-4} C_{тэ} Z_{от} (t_{нот} - t_{нот})}{C_M \lambda R_{тгр}}$$

$$= 0,5 \cdot 0,805 + \frac{5,4 \cdot 10^{-4} \cdot 110,98 \cdot 202 \cdot (8 + 1,6)}{970 \cdot 0,11 \cdot 0,805} = 2,76 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

где $C_{тэ} = 466,12$ тыс. руб./Гкал = 110,98 тыс. руб./ГДж; (здесь и далее в примерах расчетов – в ценах 2015 года);

$Z_{от} = 202$ суток (таблица 4.4 [1]);

$t_{нот} = -1,6$ °C (таблица 4.4 [1]);

$C_M = 970$ тыс. руб./м³;

$\lambda = 0,11$ Вт/(м·°C).

Таким образом, в соответствии с 5.1 [1] сопротивление теплопередаче рассчитываемой конструкции стены должно быть не менее нормативного, равного 3,2 м²·°C/Вт (таблица 5.1 [1]), и уточнять расчетную зимнюю температуру наружного воздуха не требуется.

При этом толщина теплоизоляционного слоя из торкрет-полистиролбетона

$$\delta = \lambda R_3 = 0,11 \cdot 2,531 = 0,248 \text{ м}.$$

Пример расчета 3.2

Требуется определить сопротивление теплопередаче и толщину теплоизоляционного слоя наружной стены жилого здания из штучных материалов для климатических условий Брестской области. Конструктивное решение стены приведено на рисунке 3.2.

Несущий слой стены выполнен из мелкоштучных стеновых газосиликатных блоков, толщина кладки – 300 мм, плотность в сухом состоянии 600 кг/м³.

Теплоизоляционный слой стены выполнен из полистирольного пенопласта плотностью 25 кг/м³. С наружной стороны стена облицована кера-

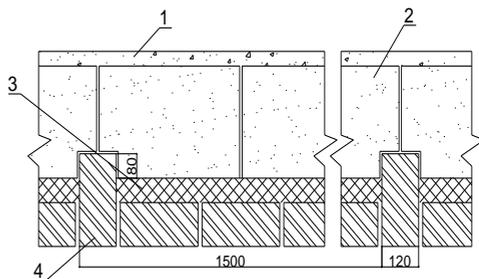


Рисунок 3.2 – Наружная стена жилого здания:

1 – известково-песчаная штукатурка, $\delta = 20$ мм;

2 – газосиликатный блок, $\delta = 300$ мм;

3 – пенополистирол, $\delta = 150$ мм;

4 – кирпичная кладка, $\delta = 120$ мм

мическим кирпичом, толщина кладки – 120 мм, плотность 1400 кг/м³. Облицовочный слой связан с несущим слоем, шаг ребер связей – 1,5 м. С внутренней стороны стена оштукатурена известково-песчаным раствором толщиной 20 мм, плотностью 1600 кг/м³.

Расчетная температура внутреннего воздуха $t_{в} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность $\varphi_{в} = 55 \%$ (см. таблицу 4.1 [1]).

Влажностный режим помещений – нормальный, условия эксплуатации ограждающих конструкций – «Б» (см. таблицу 4.2 [1]).

Расчетные значения коэффициентов теплопроводности λ и теплоусвоения S материалов принимаем по таблице А.1 [1] для условий эксплуатации «Б»:

– известково-песчаный раствор $\lambda_1 = 0,81 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$, $S_1 = 9,76 \text{ Вт/(м}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$;

– газосиликатные блоки $\lambda_2 = 0,26 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$, $S_2 = 3,91 \text{ Вт/м}^2\cdot^{\circ}\text{C}$;

– пенополистирол $\lambda_3 = 0,052 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$, $S_3 = 0,39 \text{ Вт/м}^2\cdot^{\circ}\text{C}$;

– кирпичная кладка $\lambda_4 = 0,69 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$, $S_4 = 7,58 \text{ Вт/м}^2\cdot^{\circ}\text{C}$.

Нормативное сопротивление теплопередаче для наружных стен из штучных материалов равно $3,2 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C/Вт}$ (см. таблицу 5.1 [1]).

Для определения тепловой инерции стены рассчитаем термические сопротивления отдельных ее слоев:

– штукатурки

$$R_1 = \frac{0,02}{0,81} = 0,024 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C/Вт};$$

– газосиликатных блоков

$$R_2 = \frac{0,30}{0,26} = 1,154 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C/Вт};$$

– кирпичной кладки

$$R_4 = \frac{0,12}{0,69} = 0,174 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C/Вт};$$

– теплоизоляционного слоя

$$R_3 = 3,2 - 1,154 - 0,174 - 0,024 - 0,115 - 0,043 = 1,69 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C/Вт}.$$

Тепловая инерция стены

$$D = 1,154 \cdot 3,91 + 0,174 \cdot 7,58 + 0,024 \cdot 9,76 + 1,69 \cdot 0,39 = 6,728 \text{ Вт/ }^{\circ}\text{C}.$$

Согласно таблице 5.2 [1] для ограждающей конструкции с тепловой инерцией от 4 до 7 за расчетную зимнюю температуру наружного воздуха следует принимать среднюю температуру наиболее холодных трех суток, которая в соответствии с 4.3 [1] определяется как среднее арифметическое температур наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

Для Брестской области по таблице 4.3 [1]

$$t_{\text{н}} = \frac{-25 - 21}{2} = -23 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Требуемое сопротивление теплопередаче по формуле (2) [1]

$$R_{\text{тгр}} = \frac{n \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\alpha_{\text{в}} \Delta t_{\text{в}}} = \frac{1 \cdot (8 + 23)}{8,7 \cdot 6} = 0,785 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}.$$

Так как теплоизоляционный слой содержит включения материала с большим коэффициентом теплопроводности (см. рисунок 3.2), то для определения экономически целесообразного сопротивления теплопередаче определяем приведенный коэффициент теплопроводности теплоизоляционного слоя.

$$\lambda_{\text{ип}} = \frac{\lambda_1 F_1 + \lambda_2 F_2}{F_1 + F_2} = \frac{1,38 \cdot 0,052 + 0,12 \cdot 0,69}{1,38 + 0,12} = 0,103 \text{ Вт/м} \cdot ^{\circ}\text{C}.$$

Экономически целесообразное сопротивление теплопередаче определяем по формуле (1) [1]:

$$R_{\text{тэк}} = 0,5 \cdot R_{\text{тгр}} + \frac{5,4 \cdot 10^{-4} C_{\text{тз}} Z_{\text{от}} (t_{\text{в}} - t_{\text{нот}})}{C_{\text{м}} \lambda R_{\text{тгр}}} =$$

$$= 0,5 \cdot 0,785 + \frac{5,4 \cdot 10^{-4} \cdot 110,98 \cdot 187 \cdot (8 - 0,2)}{1085 \cdot 0,103 \cdot 0,785} = 2,67 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт},$$

где $C_{\text{тз}} = 466,12$ тыс. руб./Гкал = 110,98 тыс. руб./ГДж;
 $Z_{\text{от}} = 187$ суток (таблица 4.4 [1]);
 $t_{\text{нот}} = 0,2$ °C (таблица 4.4 [1]);
 $C_{\text{м}} = 1085$ тыс. руб./м³;

$$\lambda_{\text{пр}} = 0,103 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С}).$$

Таким образом, в соответствии с п. 5.1 [1] сопротивление теплопередаче рассчитываемой конструкции наружной стены должны быть не менее нормативного, равного $3,2 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{С}/\text{Вт}$ (таблица 5.1 [1]), и уточнять расчетную зимнюю температуру наружного воздуха не требуется.

Производим расчет сопротивления теплопередаче конструкции стены в соответствии с 5.15 [1] как неоднородной ограждающей конструкции, задавшись значением толщины теплоизоляционного слоя $0,15 \text{ м}$.

Условно разрезаем рассчитываемую конструкцию стены плоскостями, параллельными направлению теплового потока и определяем термическое сопротивление.

Для данной конструкции по формуле (7) [1]

$$R_A = \frac{F_1 + F_2}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2}},$$

где F_1 и R_1 – соответственно площадь и термическое сопротивление участка стены с теплоизоляционным слоем из пенополистирола;

F_2 и R_2 – соответственно площадь и термическое сопротивление участка стены без теплоизоляционного слоя.

Расчет производим для фрагмента стены толщиной в 1 м :

$$F_1 = (1,5 - 0,12) \cdot 1,0 = 1,38 \text{ м}^2;$$

$$R_1 = \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,3}{0,26} + \frac{0,15}{0,052} + \frac{0,12}{0,69} = 4,235 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{С}/\text{Вт};$$

$$F_2 = 0,12 \cdot 1,0 = 0,12 \text{ м}^2;$$

$$R_2 = \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,22}{0,26} + \frac{0,25}{0,69} = 1,232 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{С}/\text{Вт};$$

$$R_A = \frac{1,38 + 0,12}{\frac{1,38}{4,235} + \frac{0,12}{1,232}} = 3,47 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{С}/\text{Вт}.$$

Условно разрезаем рассчитываемую конструкцию плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, на слои, три из которых являются однородными и два – неоднородными, и определяем их термические сопротивления и термическое сопротивление ограждающей конструкции по формулам (4), (7) и (6) [1] :

$$R_1 = \frac{0,02}{0,81} = 0,024 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

$$R_2 = \frac{0,22}{0,26} = 0,846 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

$$R_3 = \frac{1,38 + 0,12}{1,38/0,08 \cdot 0,26 + 0,12/0,08 \cdot 0,696} = 0,272 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

$$R_4 = \frac{1,38 + 0,12}{1,38/0,15 \cdot 0,052 + 0,12/0,15 \cdot 0,696} = 1,514 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

$$R_5 = \frac{0,12}{0,69} = 0,174 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

$$R_B = 0,024 + 0,846 + 0,272 = 2,83 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Соотношение R_A и R_B составляет

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{3,54}{2,83} = 1,25,$$

то есть превышение R_A над R_B составляет не более 25 %, и по формуле (8) [1]

$$R_k = \frac{R_A + 2R_B}{3} = \frac{3,54 + 2 \cdot 2,83}{3} = 3,07 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Сопротивление теплопередаче конструкции определяем по формуле (5) [1]

$$R_r = \frac{1}{\alpha_{в}} + R_k + \frac{1}{\alpha_{н}} = \frac{1}{8,7} + 3,07 + \frac{1}{23} = 3,27 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Полученное значение сопротивление теплопередаче не менее нормативного, что отвечает требованиям [1].

Пример расчета 3.3

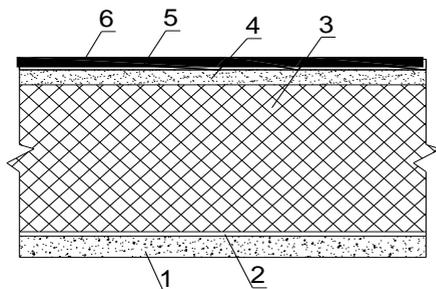


Рисунок 3.3 – Покрытие промышленного здания:

- 1 – железобетон, $\delta = 25$ мм;
- 2 – полиэтиленовая пленка, $\delta = 0,16$ мм;
- 3 – пенополистирол, $\delta = 150$ мм;
- 4 – цементно-песчаный раствор, $\delta = 20$ мм;
- 5 – рубероид (три слоя);
- 6 – слой гравия, втопленный в битумную мастику

Требуется определить сопротивление теплопередаче и толщину теплоизоляционного слоя совмещенного покрытия производственного здания для климатических условий г. Минска. Конструктивное решение покрытия представлено на рисунке 3.3.

Несущая конструкция – железобетонная ребристая плита покрытия плотностью 2500 кг/м^3 , толщина полки – 25 мм, отношение высоты ребер к расстоянию между гранями следующих ребер – 0,3.

Пароизоляционный слой – полиэтиленовая пленка толщиной 0,16 мм.

Теплоизоляционный слой – плитный полистирольный пенопласт плотностью 25 кг/м^3 .

Стяжка – из цементно-песчаного раствора толщиной 20 мм, плотностью 1800 кг/м^3 .

Гидроизоляционное покрытие – из трех слоев рубероида общей толщиной 4,5 м, плотностью 600 кг/м^3 .

Защитное покрытие – слой гравия, втопленный в битумную мастику.

Расчетная температура внутреннего воздуха $t_{в} = 16 \text{ °C}$, относительная влажность $\varphi_{в} = 60 \%$.

Влажностный режим помещений согласно таблице 4.2 [1] – нормальный, условия эксплуатации ограждений – «Б».

Расчетные значения коэффициентов теплопроводности λ и теплоусвоения S материалов определяем по таблице А.1 [1] для условий эксплуатации «Б»:

- железобетон – $\lambda_1 = 2,04 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S_1 = 19,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$;
- пенополистирол – $\lambda_3 = 0,052 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S_3 = 0,39 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$;
- цементно-песчаный раствор – $\lambda_4 = 0,93 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S_4 = 11,09 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$;

– рубероид – $\lambda_5 = 0,17 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$, $S_5 = 3,53 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{С})$.

Нормативное сопротивление теплопередаче для совмещенных покрытий согласно таблице 5.1 [1] равно $6,0 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{С}/\text{Вт}$.

Для определения тепловой инерции покрытий найдем термические сопротивления отдельных слоев конструкции:

– плиты покрытия:

$$R_1 = \frac{0,025}{2,04} = 0,012 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{С}/\text{Вт};$$

– цементно-песчаной стяжки :

$$R_2 = \frac{0,02}{0,93} = 0,021 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{С}/\text{Вт};$$

– гидроизоляционного ковра:

$$R_4 = \frac{3\cdot 1,115}{0,17} = 0,026 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{С}/\text{Вт};$$

– теплоизоляционного слоя:

$$R_3 = 6,0 - \left(\frac{1}{23} + \frac{1}{8,7} + 0,012 + 0,026 + 0,021 \right) = 5,835 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{С}/\text{Вт}.$$

Термическими сопротивлениями пароизоляционного и защитного слоев пренебрегаем из-за их незначительной величины.

Тепловая инерция покрытия

$$D = 0,012 \cdot 19,7 + 5,835 \cdot 0,39 + 0,021 \cdot 11,09 + 0,026 \cdot 3,53 = 2,84 \text{ Вт}/^\circ\text{С}.$$

Согласно таблице 5.2 [1] для ограждающей конструкции с тепловой инерцией от 1,5 до 4,0 за расчетную зимнюю температуру наружного воздуха следует принимать среднюю температуру наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92; в соответствии с таблицей 4.3 [1] для г. Минска $t_{\text{н}} = -28^\circ\text{С}$.

Определим требуемое сопротивление теплопередаче

$$R_{тгр} = \frac{n \cdot (t_b - t_n)}{\alpha_b \Delta t_b} = \frac{1 \cdot (6 + 28)}{8,7 \cdot 6,2} = 0,816 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

где $\Delta t_b = 0,8 \cdot (t_b - t_p) = 0,8 \cdot (6 - 8,2) = 6,2 \text{ °C}$ в соответствии с таблицей 5.5 [1],
 $t_p = 8,2 \text{ °C}$ – температура точки росы при расчетных температуре и относительной влажности внутреннего воздуха (из таблицы И.1 [1]) для $t_b = 16 \text{ °C}$, $\varphi = 60 \%$;

Экономически целесообразное сопротивление теплопередаче данной конструкции покрытия

$$R_{тж} = 0,5 \cdot 0,816 + \frac{5,4 \cdot 10^{-4} \cdot 110,98 \cdot 202 \cdot (8 + 1,6)}{1085 \cdot 0,052 \cdot 0,816} = 5,04 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

где $C_m = 1085 \text{ тыс. руб./м}^3$;
 $\lambda = 0,052 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

Остальные данные такие же, как и в примере расчета 2.

Таким образом, в соответствии с п. 5.1 [1], сопротивление теплопередаче рассчитываемой конструкции должно быть не менее нормативного, равного $6,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

Толщина теплоизоляционного слоя из пенополистирола при этом

$$\delta = \lambda R_d = 0,052 \cdot 5,835 = 0,304 \text{ м}.$$

Пример расчета 3.4

Требуется определить термическое сопротивление пустотелой железобетонной плиты чердачного перекрытия (рисунок 3.4).

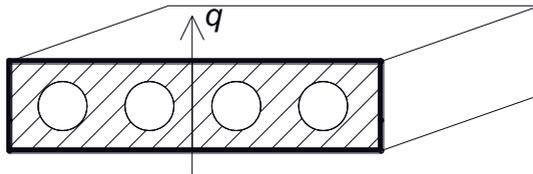


Рисунок 3.4 – Конструкция плиты чердачного перекрытия

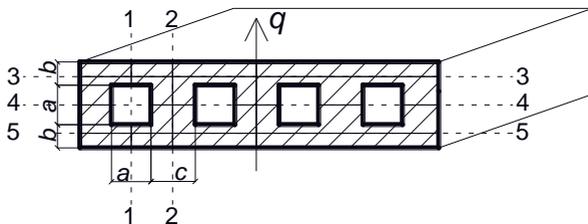


Рисунок 3.5 – Расчетная модель плиты чердачного перекрытия

Для упрощения расчета круглые отверстия – пустоты диаметром $d = 90$ мм, – заменяем равновеликими по площади квадратами (рисунок 3.5).

Сторону квадрата a рассчитываем по формуле

$$a = \sqrt{\frac{\pi d^2}{4}} = \sqrt{3,14 \cdot 0,045^2} = 0,0798 \text{ м,}$$

где R – радиус отверстия.

Толщина глухой части панели

$$b = \frac{\delta - a}{2} = \frac{0,12 - 0,0798}{2} = 0,0201 \text{ м.}$$

Расстояние между пустотами c

$$c = c' + \left(\frac{d}{2} - a \right) = 0,0399 \text{ м,}$$

где c' – наименьшее расстояние между пустотами в исходной конструкции.

Производим расчет сопротивления теплопередаче конструкции стены в соответствии с п. 5.15 [1] как неоднородной ограждающей конструкции.

Условно разрезаем рассчитываемую конструкцию стены плоскостями, параллельными направлению теплового потока и определяем термическое сопротивление (пунктиром на рисунке 3.5 обозначены плоскости сечения, параллельные (1–1 и 2–2) и перпендикулярные (3–3, 4–4, 5–5) тепловому потоку).

Для данной конструкции по формуле (7) [1] термическое сопротивление ограждающей конструкции

$$R_A = \frac{F_1 + F_2}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2}},$$

где F_1, F_2 – площади отдельных участков конструкции, м^2 ; $F_1 = a \cdot l \cdot n$;

$$F_2 = c \cdot l \cdot m;$$

l – ширина железобетонной плиты, принимаем $l = 1 \text{ м}$;

a, c – размеры согласно рисунку 3.5;

n – количество пустот, принимаем $n = 6$;

m – количество железобетонных участков между пустотами, принимаем $m = 7$;

R_1, R_2 – термические сопротивления неоднородного участка по сечениям 1–1 и 2–2 соответственно.

Для сечения 1–1 термическое сопротивление $R_1, \text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, определяется по формуле

$$R_1 = \frac{b}{\lambda_{\text{жб}}} + R_{\text{вп}} + \frac{b}{\lambda_{\text{жб}}},$$

где $R_{\text{вп}}$ – термическое сопротивление воздушной прослойки, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

$$R_1 = \frac{0,0201}{2,04} + 0,15 + \frac{0,0201}{2,04} = 0,1697 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Для сечения 2–2

$$R_2 = \frac{\delta}{\lambda_{жб}} = \frac{0,12}{2,04} = 0,0588 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

$$F_1 = 0,0798 \cdot 1 \cdot 6 = 0,4788 \text{ м}^2,$$

$$F_2 = 0,0499 \cdot 1 \cdot 7 = 0,3493 \text{ м}^2,$$

$$R_A = \frac{\frac{0,4788}{0,4788} + \frac{0,3493}{0,3493}}{\frac{0,1697}{0,1697} + \frac{0,0588}{0,0588}} = 0,0945 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Термическое сопротивление R_B , $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, для сечений, перпендикулярных тепловому потоку, определяется по формуле

$$R_B = R_3 + R_4 + R_5,$$

где R_3, R_5 – термические сопротивления однородных участков конструкции.

$$R_3 = R_5 = \frac{b}{\lambda_{жб}} = \frac{0,0201}{2,04} = 0,009 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

R_4 – термическое сопротивление неоднородного участка для сечения 4–4, определяемое по формуле

$$R_4 = \frac{F_1 + F_2}{\frac{F_1}{R_{вп}} + \frac{F_2}{\alpha/\lambda_{жб}}},$$

$$R_4 = \frac{0,4788 + 0,3493}{\frac{0,4788}{0,15} + \frac{0,3493}{0,0798/2,04}} = 0,0683 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

$$R_B = 0,009 + 0,0683 + 0,009 = 0,0863 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

Соотношение R_A и R_B составляет

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{0,0943}{0,0863} = 1,09,$$

то есть превышение R_A над R_B составляет не более 25 %, и приведенное термическое сопротивление пустотной железобетонной плиты по формуле (8) [1]

$$R_K = \frac{(R_A + 2R_B)}{3} = \frac{(0,0943 + 2 \cdot 0,0863)}{3} = 0,0890 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

4 РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ МНОГОСЛОЙНОЙ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

Стационарная теплопередача через ограждение. Для решения многих инженерных задач нужно не только определять количество тепла, проходящего через ограждение, но и устанавливать распределение температуры на поверхностях и в его толще.

Из уравнений теплопередачи, а также в связи с электротепловой аналогией установлено, что падение температуры на каждом термическом сопротивлении, если оно расположено в ряду последовательно соединенных сопротивлений, составляющих общее термическое сопротивление ограждения, пропорционально его величине. Поэтому перепад температуры между воздухом помещения и внутренней поверхностью ограждения выражается в виде

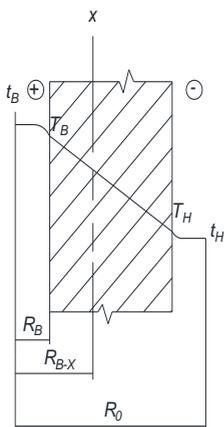
$$\frac{(t_B - \tau_B)}{R_B} = \frac{(t_B - t_H)}{R_0},$$

где t_B и t_H – температуры внутреннего и наружного воздуха соответственно,

τ_B – температура на внутренней поверхности ограждения,

R_0 – полное сопротивление теплопередаче,

R_B – сопротивление теплопередаче от внутреннего воздуха к внутренней поверхности ограждения (рисунок 4.1).



$$t_B = t_B - \frac{R_B}{R_0} (t_B - t_H)$$

Рисунок 4.1 – Распределение температур по сечению ограждения

Рассуждая аналогичным образом, получаем, что температура в любом произвольном взятом сечении x (рисунок 4.1) может быть определена по формуле

$$t_x = t_B - \frac{R_{B-x}}{R_0} (t_B - t_H)$$

где R_{B-x} – сопротивление теплопередаче от внутреннего воздуха до сечения x .

Пример расчета 4.1

Определим температуры на границах слоёв многослойной конструкции наружной стены (рисунок 4.2), тепловой поток и глубину промерзания при следующих исходных данных: $t_{в} = 21^{\circ}\text{C}$, $t_{н} = -26^{\circ}\text{C}$. Распределение температур по сечению многослойной конструкции представлено на рисунке 4.3.

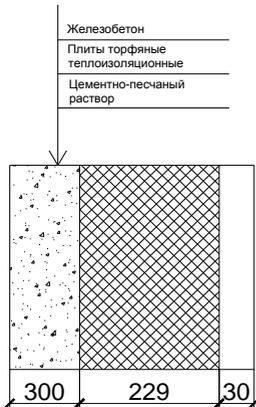


Рисунок 4.2 – Конструкция наружной стены здания

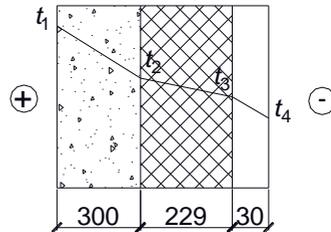


Рисунок 4.3 – Температурное поле в многослойной конструкции

Конструкция стены состоит из следующих слоев:

- железобетон, $\delta = 0,30$ м;
- плиты торфяные теплоизоляционные, $\delta = 0,23$ м;
- цементно-песчаный раствор, $\delta = 0,03$ м.

Расчетные значения коэффициентов теплопроводности λ и теплоусвоения S материалов определяем по таблице А.1 [1] для условий эксплуатации «Б»:

- железобетон $\lambda_1 = 2,04$ Вт/(м \cdot °C); $S_1 = 19,70$ Вт/(м 2 ·°C);
- плиты торфяные теплоизоляционные $\lambda_2 = 0,08$ Вт/(м \cdot °C); $S_2 = 2,34$ Вт/(м 2 ·°C);
- цементно-песчаный раствор $\lambda_3 = 0,93$ Вт/(м \cdot °C); $S_3 = 11,09$ Вт/(м 2 ·°C).

Рассчитаем термическое сопротивление отдельных слоев конструкции:

- железобетон

$$R_1 = \frac{0,3}{2,04} = 0,147 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт};$$

- плиты торфяные теплоизоляционные

$$R_2 = \frac{0,23}{0,08} = 2,863 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

– цементно-песчаный раствор

$$R_3 = \frac{0,03}{0,93} = 0,032 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Таким образом, термическое сопротивление исследуемой многослойной конструкции составляет

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_1 + R_2 + R_3 + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} = \frac{1}{8,7} + 0,147 + 2,863 + 0,032 + \frac{1}{23} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Определим тепловой поток через трехслойную конструкцию при заданной разности температур двух сред:

$$q = \frac{1}{R_0} (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) = \frac{1}{3,2} \cdot (21 - 26) = 14,69 \text{ Вт/м}^2,$$

где $t_{\text{в}}$ – температура внутреннего воздуха, °С;

$t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, °С .

Определяем температуры на границах слоев конструкции по формуле

$$t_x = t_1 - \frac{t_1 - t_4}{\sum_{i=1}^3 R_i} \cdot R_x = t_1 - qR_x,$$

где t_x – температура в произвольной точке конструкции, °С;

t_1 – температура на внутренней поверхности, °С .

t_4 – температура на наружной поверхности, °С;

R_x – термическое сопротивление части конструкции, находящейся между плоскостями с температурами t_1 и t_x , ($\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$).

$$t_1 = t_{\text{в}} - q \cdot \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} = 21 - 14,69 \cdot \frac{1}{8,7} = 19,31 \text{ °С};$$

$$t_2 = t_B - q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + R_1 \right) = 21 - 14,69 \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,3}{2,04} \right) = 17,15 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_3 = t_B - q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + R_1 + R_2 \right) = 21 - 14,69 \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,3}{2,04} + \frac{0,23}{0,08} \right) = -24,91 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_4 = t_B - q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + R_1 + R_2 + R_3 \right) = 21 - 14,69 \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,3}{2,04} + \frac{0,23}{0,08} + \frac{0,03}{0,93} \right) = -25,38 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Согласно расчету граница промерзания находится в слое торфяных плит. Глубину промерзания в теплоизоляционном слое определяем из пропорции

$$\frac{x}{\delta_i - x} = \frac{|t'_H|}{|t'_B|}; \quad \frac{x}{0,23 - x} = \frac{19,31}{25,38}.$$

Отсюда получаем $x = 0,099$ м. Общая глубина промерзания в этом случае составит

$$\delta_{\text{пр}} = x + 0,03 = 0,13 \text{ м.}$$

Положение плоскости промерзания показано на рисунке 4.4.

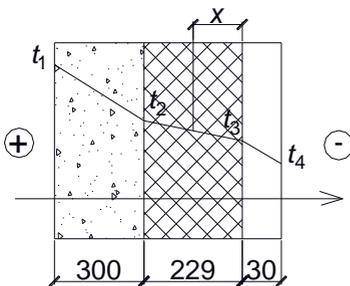


Рисунок 4.4 – Положение плоскости промерзания в теплоизоляционном слое

5 СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЮ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций зданий и сооружений рассчитывают следующим образом.

Определяют требуемое сопротивление воздухопроницанию $R_{в\text{ тр}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$:

– для ограждающих конструкций, за исключением заполнений световых проемов, по формуле (23) [1]:

$$R_{в\text{ тр}} = \frac{\Delta p}{g_{\text{норм}}};$$

– для заполнений световых проемов (окон и балконных дверей жилых и общественных зданий, окон и фонарей производственных зданий) – по формуле (26) [1]:

$$R_{в\text{ тр}} = \frac{0,216 \cdot \Delta p^{2/3}}{g_{\text{норм}}};$$

где Δp – расчетная разность давлений воздуха, Па, на наружной и внутренней поверхностях ограждающей конструкции, определяемая по формуле (24) [1]:

$$\Delta p = 0,55H \cdot (\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}) + 0,03 \cdot \gamma_{\text{н}} v_{\text{ср}}^2,$$

где $\gamma_{\text{н}}$, $\gamma_{\text{в}}$ – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, $\text{Н} / \text{м}^3$.

H – высота здания от поверхности земли до верха карниза, м;

$v_{\text{ср}}$ – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более, принимаемая по таблице 4.5 [1]. Для типовых проектов следует принимать равной 5 м/с;

$g_{\text{норм}}$ – нормативная воздухопроницаемость, $\text{кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, ограждающих конструкций, принимаемая по таблице 8.1 [1].

Удельный вес γ определяется по формуле

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t},$$

где t – температура воздуха, °С, внутреннего – согласно таблице 4.1, наружного – равная средней температуре наиболее холодной пя-

тидневки обеспеченностью 0,92 – согласно таблице 4.3 [1];

Сопrotивление воздухопроницанию R_v конструкции должно быть не менее требуемого $R_{v\text{ тр}}$.

Сопrotивление воздухопроницанию ограждающей конструкции определяют по формуле (27) [1]:

$$R_v = R_{v1} + R_{v2} + \dots + R_{vn};$$

где $R_{v1}, R_{v2}, \dots, R_{vn}$ – сопротивления воздухопроницанию отдельных слоев конструкции, принимаемые по таблице Г.1 [1].

При этом сопротивление воздухопроницанию слоев ограждающих конструкций, расположенных между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью конструкции, не учитывается.

Сопrotивление воздухопроницанию заполнений световых проемов зданий и сооружений принимают по таблице Д.1 [1].

Пример расчета 5.1

Требуется рассчитать сопротивление воздухопроницанию оконного заполнения жилого здания высотой 25 м для климатических условий Витебской области.

Остекление – тройное в раздельно-спаренных переплетах.

Расчетные температуры: внутреннего воздуха – 18 °С, наружного воздуха – минус 25 °С (таблицы 4.1 и 4.3 [1]).

Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более – 5,4 м/с (таблица 4.5 [1]).

Определяем удельные веса наружного и внутреннего воздуха:

$$\gamma_n = \frac{3463}{273 - 25} = 13,96 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}; \quad \gamma_v = \frac{3463}{273 + 18} = 11,90 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}.$$

Определяем расчетную разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях окна:

$$\Delta p = 0,55 \cdot 25 \cdot (13,96 - 11,90) + 0,03 \cdot 13,96 \cdot 5,4^2 = 40,5 \text{ Па}.$$

Определяем требуемое сопротивление воздухопроницанию окна при $g_{\text{норм}} = 10 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ (таблица 8.1 [1]):

$$R_{в\text{ тр}} = \frac{0,216 \cdot 40,5^{2/3}}{10} = 0,25 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}.$$

Для выполнения требований к сопротивлению воздухопроницанию окно с тройным остеклением в раздельно-спаренном переплете должно иметь не менее одного уплотненного притвора с пенополиуретановыми прокладками ($R_{в} = 0,30 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$), или не менее двух уплотненных притворов с прокладками из губчатой резины ($R_{в} = 0,26 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$), или три уплотненных притвора с прокладками из полушерстяного шнура ($R_{в} = 0,27 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$), (таблица Д.1 [1]).

6 СОПРОТИВЛЕНИЕ ПАРОПРОНИЦАНИЮ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Для обеспечения расчетных значений сопротивления теплопередаче при эксплуатации ограждающих конструкций последние должны находиться в соответствующих температурно-влажностных условиях, что определяется параметрами воздушной среды внутри и снаружи помещения и сопротивлением паропроницанию ограждающей конструкции.

Сопротивление паропроницанию части ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации должно быть не менее требуемого сопротивления паропроницанию $R_{п\text{ тр}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, определяемого по формуле (28) [1]:

$$R_{п\text{ тр}} = R_{пн} \frac{e_{в} - E_{к}}{E_{к} - e_{н\text{ от}}},$$

где $R_{пн}$ – сопротивление паропроницанию, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, части ограждающей конструкции в пределах от плоскости возможной конденсации до наружной поверхности ограждающей конструкции;

$e_{в}$ – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетных температуре и относительной влажности этого воздуха, определяемое по формуле (29) [1]:

$$e_{в} = 0,01 \cdot \varphi_{в} E_{в},$$

где $\varphi_{в}$ – расчетная относительная влажность, %, внутреннего воздуха, принимаемая по таблице 4.1 [1];

$E_{в}$ – максимальное парциальное давление водяного пара внутреннего

воздуха, Па, при расчетной температуре этого воздуха, принимаемое по таблице И.1 [1];

E_k – максимальное парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации, принимаемое по таблице И.1 [1] при температуре t_k , °С, определяемой по формуле (30) [1]:

$$t_k = t_B - \frac{t_B - t_{н\text{от}}}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + \sum R_{Ti} \right),$$

где t_B – расчетная температура внутреннего воздуха, °С, принимаемая по таблице 4.1 СНБ 2.01,01;

$t_{н\text{от}}$ – расчетная температура наружного воздуха для определения сопротивления паропрооницанию, в качестве которой принимается средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С, по таблице 4.4 [1],

α_B – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С), принимаемый по таблице 5.4 [1];

R_T – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м²·°С/Вт, определяемое по формуле (5) [1] без учета теплопроводных включений;

R_{Ti} – термические сопротивления, м²·°С/Вт, отдельных слоев многослойной ограждающей конструкции или части однослойной конструкции, определяемые по формуле (4) [1], а также термические сопротивления замкнутых воздушных прослоек, расположенных в пределах от внутренней поверхности конструкции до плоскости возможной конденсации, определяемые по таблице Б.1 [1];

$e_{н\text{от}}$ – парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, при средней температуре $t_{н\text{от}}$ наружного воздуха за отопительный период, определяемое по формуле (31) [1] в соответствии с таблицей В.1 [1]:

$$e_{н\text{от}} = 0,01 \varphi_{н\text{от}} E_{н\text{от}},$$

где $\varphi_{н\text{от}}$ – средняя относительная влажность, %, наружного воздуха за отопительный период, принимаемая по таблице 4.7 [1] или по таблице В.1;

$e_{н\text{от}}$ – максимальное парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, при средней температуре $t_{н\text{от}}$ за отопительный период, принимаемое по таблице И.1 [1].

Плоскость возможной конденсации – сечение ограждающей конструкции, перпендикулярное направлению теплового и влажностного потоков, в котором при расчетных значениях температуры и относительной влажности внутреннего и наружного воздуха имеет место наибольшее превышение расчетного давления водяного пара над максимальным парциальным давлением, соответствующим температуре ограждения в данном сечении.

Для расчета требуемого сопротивления паропрооницанию ограждающей конструкции принимают, что плоскость возможной конденсации в однородной (однослойной) конструкции располагается на расстоянии равном 0,66 толщины конструкции от ее внутренней поверхности, а в многослойной конструкции совпадает с поверхностью теплоизоляционного слоя, ближайшей к наружной поверхности ограждающей конструкции.

Сопротивление паропрооницанию $R_{п}$, м²·ч·Па/мг, слоя ограждающей конструкции определяют по формуле (33) [1]:

$$R_{п} = \frac{\delta}{\mu},$$

где δ – толщина слоя, м;

μ – расчетный коэффициент паропрооницаемости материала слоя ограждающей конструкции, м²/(м·ч·Па), принимаемый по таблице А.1 [1].

Сопротивление паропрооницанию части многослойной конструкции (от внутренней поверхности конструкции до плоскости возможной конденсации или от плоскости возможной конденсации до наружной поверхности конструкции) определяют как сумму сопротивлений паропрооницанию составляющих данную часть конструкции слоев

$$R_{п} = R_{п1} + R_{п2} + \dots + R_{пn},$$

где $R_{п1}, R_{п2}, \dots, R_{пn}$ – сопротивление паропрооницанию отдельных слоев многослойной конструкции.

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

Сопротивление паропрооницанию некоторых листовых материалов и тонких слоев пароизоляции принимают по таблице Ж.1 [1].

Сопротивление паропрооницанию чердачного перекрытия холодного чердака или части конструкции вентилируемого покрытия, расположенной между внутренней поверхностью покрытия и воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, в зданиях со скатами кровли шириной до

24 м должно быть не менее требуемого сопротивления паропрооницанию $R_{п тр}$, $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$, которое определяют по формуле (32) [1]:

$$R_{п тр} = 0,0012 \cdot (e_v - e_{н от}),$$

где e_v и $e_{н от}$ – то же, что и в п. 2.

Для защиты от увлажнения теплоизоляционного слоя в покрытиях зданий с влажным или мокрым режимом следует предусматривать пароизоляцию, размещающую ниже теплоизоляционного слоя.

В помещениях с влажным или мокрым режимом следует предусматривать пароизоляцию теплоизолирующих уплотнений сопряжений элементов ограждающих конструкций (мест примыкания заполнений проемов к стенам и т.п.) со стороны помещений.

Сопротивление паропрооницанию в местах таких сопряжений следует проверять из условия недопустимости конденсации влаги при средней температуре наружного воздуха за отопительный период на основании расчета температурного и влажностного полей на ЭВМ.

Не требуется определять сопротивление паропрооницанию следующих наружных ограждающих конструкций помещений с сухим или нормальным режимом:

- однородных (однослойных);
- двухслойных при выполнении условия

$$\frac{\mu_v}{\lambda_v} \leq \frac{\mu_n}{\lambda_n},$$

где μ_v и λ_v – соответственно коэффициенты паропрооницаемости и теплопроводности материала внутреннего слоя ограждающей конструкции в условиях эксплуатации;

μ_n и λ_n – то же для материала наружного слоя ограждающей конструкции.

Пример расчета 6.1

Требуется определить сопротивление паропрооницанию наружной стены жилого здания из штучных материалов для климатических условий Брестской области (конструктивное решение стены приведено на рисунке 3.2 в примере расчета 3 сопротивления теплопередаче).

Расчетная температура внутреннего воздуха – 18 °С, относительная влажность – 55 % (см. таблицу 4.1 [1]).

Влажностный режим помещений – нормальный, условия эксплуатации ограждающих конструкций – «Б» (см. таблицу 4.2 [1]).

Сопrotивление паропроницанию заданной конструкции стены определяем для основного участка (участка с теплоизоляционным слоем из пенопласта).

Расчетные значения коэффициентов теплопроводности λ и паропроницаемости μ материалов принимаем по таблице А.1 [1] для условий эксплуатации «Б»:

- известково-песчаный раствор $\lambda_1 = 0,81$ Вт/(м·°С), $\mu_1 = 0,12$ мг/(м·ч·Па);
- газосиликатные блоки $\lambda_2 = 0,26$ Вт/(м·°С), $\mu_2 = 0,17$ мг/(м·ч·Па);
- пенополистирол $\lambda_3 = 0,052$ Вт/(м·°С), $\mu_3 = 0,05$ мг/(м·ч·Па);
- кирпичная кладка $\lambda_4 = 0,69$ Вт/(м·°С), $\mu_4 = 0,16$ мг/(м·ч·Па).

Расчетные параметры наружного воздуха для расчета сопротивления паропроницанию – средние значения за отопительный период.

Для Брестской области:

- средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{н\text{от}} = 0,2$ °С (см. таблицу 4.4 [1]);
- средняя относительная влажность наружного воздуха за отопительный период $\phi_{н\text{от}} = 84$ % (приложение В).

Плоскость возможной конденсации для заданной конструкции стены совпадает с поверхностью полистирольного пенопласта, обращенной к облицовочному слою из кирпичной кладки. Сопrotивление паропроницанию части конструкции до плоскости возможной конденсации

$$R_{пн} = \frac{\delta}{\mu} = \frac{0,12}{0,16} = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха при расчетных значениях температуры и относительной влажности, определяемое по формуле (29) [1],

$$e_b = 1135 \text{ Па}.$$

Парциальное давление водяного пара наружного воздуха при расчетных значениях температуры и относительной влажности, определяемое по приложению В,

$$e_n = 521 \text{ Па}.$$

Определяем температуру в плоскости возможной конденсации по формуле (30) [1]:

$$t_k = 18 - \frac{(8 - 0,2) \cdot \left(0,115 + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,3}{0,26} + \frac{0,05}{0,052} \right)}{0,115 + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,3}{0,26} + \frac{0,05}{0,052} + \frac{0,12}{0,69} + 0,043} = 1,8^\circ\text{C}.$$

Определяем максимальное парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации по таблице И.1 [1]

$$e_k = 695 \text{ Па.}$$

Определяем требуемое сопротивление паропроницанию заданной конструкции стены в пределах от ее внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации

$$R_{п\text{ тр}} = 0,75 \cdot \frac{1135 - 695}{695 - 521} = 1,897 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг},$$

Сопротивление паропроницанию рассчитываемой конструкции стены от ее внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации

$$R_{пв} = \frac{0,02}{0,12} + \frac{0,3}{0,17} + \frac{0,05}{0,05} = 2,93 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} > R_{п\text{ тр}}$$

что отвечает требованиям [1].

Пример расчета 6.2

Требуется рассчитать сопротивление паропроницанию наружной стены жилого здания из мелкоштучных газосиликатных блоков, конструкция которой приведена на рисунке 6.1, для климатических условий Могилевской области.

Расчетная температура внутреннего воздуха – 18 °С, относительная влажность – 55 % (таблица 4.1 [1]).

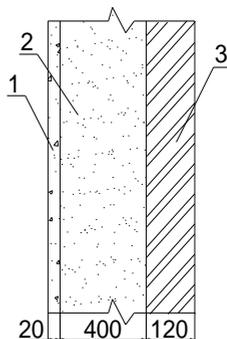


Рисунок 6.1 – Конструкция наружной стены жилого дома:

- 1 – известково-песчаная штукатурка, $\delta = 20$ мм;
- 2 – газосиликатный блок, $\delta = 400$ мм;
- 3 – кирпичная кладка, $\delta = 120$ мм

Влажностный режим помещений – нормальный, условия эксплуатации ограждающих конструкций – «Б» (таблица 4.2 [1]).

Расчетные значения коэффициентов теплопроводности λ и паропроницаемости μ материалов стены принимаем по таблице А.1 [1] для условий эксплуатации «Б»:

- известково-песчаный раствор $\lambda_1 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$, $\mu_1 = 0,12 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$;
- газосиликатные блоки $\lambda_2 = 0,205 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$, $\mu_2 = 0,2 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$;
- кирпичная кладка $\lambda_3 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$, $\mu_3 = 0,11 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$.

Расчетные параметры наружного воздуха для расчета сопротивления паропроницанию – средние значения температуры и относительной влажности за отопительный период.

Для Могилевской области средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{н\text{от}} = -1,9 \text{ }^\circ\text{С}$ (таблица 4.4 СНБ 2.01,01), средняя относительная влажность наружного воздуха за отопительный период $\varphi_{н\text{от}} = 84 \%$ (см. приложение В).

Парциальное давление водяного пара внутреннего и наружного воздуха при расчетных значениях температуры и относительной влажности составляют:

$$e_v = 1135 \text{ Па}, \quad e_n = 439 \text{ Па}.$$

Положение плоскости возможной конденсации в данной конструкции стены находится на границе слоя газосиликатной и кирпичной кладок.

Определяем температуру в плоскости возможной конденсации при расчетных температурах внутреннего и наружного воздуха

$$t_k = 18 - \frac{(8 + 0,9) \cdot \left(0,115 + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,4}{0,205} \right)}{0,115 + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,4}{0,205} + \frac{0,12}{0,81} + 0,043} = -0,2 \text{ }^\circ\text{С}.$$

Максимальное парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации при $t_k = -0,2 \text{ }^\circ\text{С}$ составляет (таблица И.1 [1]).

$$e_k = 601 \text{ Па}.$$

Сопротивление паропроницанию от плоскости возможной конденсации до наружной поверхности стены

$$R_{пн} = \frac{0,12}{0,11} = 1,09 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Определяем требуемое сопротивление паропроницанию стены от ее внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации:

$$R_{птр} = 1,09 \cdot \frac{1135 - 601}{601 - 439} = 3,59 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Сопротивление паропроницанию рассчитываемой конструкции стены в пределах от ее внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации

$$R_{пв} = \frac{0,02}{0,12} + \frac{0,4}{0,2} = 2,16 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Данная конструкция наружной стены не отвечает требованиям [1] по сопротивлению паропроницанию, так как $R_{пв} < R_{птр}$.

Превышение $R_{птр}$ над $R_{пв}$

$$R_{птр} - R_{пв} = 3,59 - 2,16 = 1,43 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Устройство в данной конструкции стены пароизоляционного слоя из применяющихся для этого материалов практически невозможно, поэтому целесообразно изменить конструктивное решение, устроив между газосиликатными блоками и кирпичной кладкой воздушную прослойку, вентилируемую наружным воздухом. При этом по влажностному режиму основной слой стены будет соответствовать однородным стенам помещений с нормальным режимом, сопротивление паропроницанию которых определять не требуется (п. 9.8 [1]).

Толщина вентилируемой воздушной прослойки должна быть в пределах 50–100 мм.

При этом необходимо уточнить ее сопротивление теплопередаче, так как в соответствии с 5.13 [1] слои конструкции, которые расположены между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, при расчете сопротивления теплопередаче не учитываются.

Пример расчета 6.3

Требуется рассчитать сопротивление паропрооницанию чердачного перекрытия жилого здания с холодным чердаком для климатических условий Минской области. Конструктивное решение перекрытия приведено на рисунке 6.3.

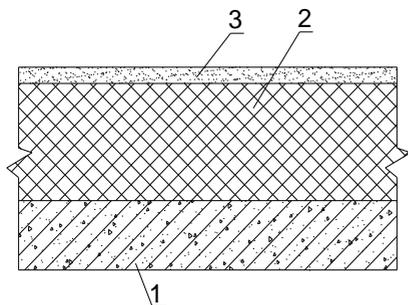


Рисунок 6.3 – Чердачное перекрытие жилого здания:

- 1 – керамзитобетон, $\delta = 160$ мм
- 2 – гравий керамзитовый, $\delta = 340$ мм
- 3 – цементно-песчаный раствор, $\delta = 30$ мм

Расчетная температура внутреннего воздуха – $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность – 55% (таблица 4.1 [1]).

Влажностный режим помещений – нормальный, условия эксплуатации ограждающих конструкций – «Б» (таблица 4.2 [1]).

Расчетные значения коэффициентов теплопроводности λ и паропрооницаемости μ материалов чердачного перекрытия принимаем по таблице А.1 [1] для условий

эксплуатации «Б»:

– керамзитобетон: $\gamma_1 = 1600\text{ кг/м}^3$, $\lambda_1 = 0,79\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$, $\mu_1 = 0,09\text{ мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$;

– гравий керамзитовый: $\gamma_2 = 300\text{ кг/м}^3$, $\lambda_2 = 0,13\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$, $\mu_2 = 0,25\text{ мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$;

– цементно-песчаный раствор: $\gamma_3 = 1800\text{ кг/м}^3$, $\lambda_3 = 0,93\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$, $\mu_3 = 0,09\text{ мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$.

Расчетные параметры наружного воздуха для расчета сопротивления паропрооницанию – средние значения температуры и относительной влажности за отопительный период.

Для Минской области средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{н\text{от}} = -1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблица 4.7 [1]), средняя относительная влажность наружного воздуха за отопительный период $\varphi_{н\text{от}} = 85\%$ (см. приложение В).

Парциальные давления водяного пара внутреннего и наружного воздуха при расчетных значениях температуры и относительной влажности составляют:

$$e_{в} = 1135\text{ Па}, \quad e_{н} = 455\text{ Па}.$$

Положение плоскости возможной конденсации в данной конструкции перекрытия находится на границе керамзитового гравия и цементно-песчаного раствора. Определяем температуру в плоскости возможной конденсации при расчетных температурах внутреннего и наружного воздуха

$$t_k = 18 - \frac{18 + 1,6}{3,05} \cdot \left(0,115 + \frac{0,16}{0,79} + \frac{0,34}{0,13} \right) = -0,8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Максимальное парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации при $t_k = -0,8 \text{ } ^\circ\text{C}$ (таблица И.1 [1])

$$e_k = 573 \text{ Па}.$$

Сопротивление паропрооницанию от плоскости возможной конденсации до наружной поверхности чердачного перекрытия

$$R_{пн} = \frac{0,03}{0,09} = 0,33 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Определяем требуемое сопротивление паропрооницанию в пределах от внутренней поверхности перекрытия до плоскости возможной конденсации:

$$R_{птр} = 0,33 \cdot \frac{1135 - 573}{573 - 455} = 1,57 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Определяем сопротивление паропрооницанию перекрытия в пределах от его внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации:

$$R_{пв} = \frac{0,16}{0,09} + \frac{0,34}{0,25} = 3,13 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Данная конструкция чердачного перекрытия отвечает требованиям [1] по сопротивлению паропрооницанию, так как $R_{пв} > R_{птр}$.

7 ВЫБОР ЗАДАНИЯ. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И СОДЕРЖАНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Задание для расчета выбирается студентом из перечня представленных в обязательных приложениях А, Б и В схем и таблиц согласно номеру по списку в журнале. Остальные исходные данные, необходимые для расчетов, принимаются согласно требованиям строительных норм Республики Беларусь.

Расчетно-пояснительная записка должна оформляться на стандартных листах писчей бумаги формата А4 и содержать титульный лист, лист уста-

новленного образца с индивидуальным заданием (приложение Г), содержание, текст курсовой работы и список использованной литературы.

Титульный лист расчетно-пояснительной записки должен содержать следующие сведения: наименование учебного заведения, наименование руководящей кафедры, полное название темы курсовой работы, Ф.И.О. исполнителя проекта, Ф.И.О. руководителя проекта, место и год выполнения работы. Пример оформления титульного листа приведен на рисунке 7.1.

Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь
УО «Белорусский государственный университет транспорта»

Кафедра «Экология и энергоэф-
фективность в техносфере»

КУРСОВАЯ РАБОТА
«ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ»

по дисциплине
«ТЕПЛОТЕХНИКА И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ»

Студента(ки) __ курса
__ группы

Ф.И.О.

Руководитель:

Должность

Ф.И.О.

Гомель 201_

Рисунок 7.1 – Образец оформления титульного листа

Требования к оформлению расчетно-пояснительной записки.

1 Записка печатается с использованием компьютера и принтера односторонней печатью на белой бумаге формата А4 (210×297 мм).

2 Набор текста осуществляется с использованием текстового редактора Word. При этом рекомендуется использовать шрифты типа Times New Roman размером 14 пунктов. Количество знаков в строке – 60–70, межстрочный интервал – 18 пунктов (1,5 машинописных интервала), количество текстовых строк на странице – 39–40.

Шрифт печати должен быть прямым, светлого начертания, четким, черного цвета, одинаковым по всему объему текста. Разрешается использовать компьютерные возможности акцентирования внимания на определениях, терминах, теоремах, важных особенностях, применяя разное начертание шрифта: курсивное, полужирное, курсивное полужирное, выделение с помощью рамок, разрядки, подчеркивания и другое.

Опечатки и графические неточности, обнаруженные в тексте, допускаются исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской и нанесением на том же месте исправленного текста машинописным или рукописным способами.

3 Текст расчетно-пояснительной записки делят на главы, разделы, подразделы, пункты.

Заголовки структурных частей печатают прописными буквами в середине строк, используя полужирный шрифт с размером на 1–2 пункта больше, чем шрифт в основном тексте. Так же печатают заголовки глав.

Заголовки разделов печатают строчными буквами (кроме первой прописной) с абзацного отступа полужирным шрифтом с размером на 1–2 пункта больше, чем в основном тексте.

Заголовки подразделов печатают с абзацного отступа строчными буквами (кроме первой прописной) полужирным шрифтом с размером шрифта основного текста.

Пункты, как правило, заголовков не имеют. При необходимости заголовков пункта печатают с абзацного отступа полужирным шрифтом с размером шрифта основного текста в подбор к тексту.

В конце заголовков глав, разделов и подразделов точку не ставят. Если заголовок состоит из двух или более предложений, их разделяют точкой (точками). В конце заголовка пункта ставят точку.

4 Расстояние между заголовком (за исключением заголовка пункта) и текстом должно составлять 2–3 межстрочных интервала. Если между двумя заголовками текст отсутствует, то расстояние между ними устанавливается в 1,5–2 межстрочных интервала. Расстояние между заголовком и текстом, после которого заголовок следует, может быть больше, чем расстояние между заголовком и текстом, к которому он относится.

Каждую структурную часть расчетно-пояснительной записки следует начинать с нового листа.

5 Иллюстрации и таблицы следует располагать в записке непосредственно на странице с текстом после абзаца, в котором они упоминаются впервые, или отдельно на следующей странице. Они должны быть расположены так, чтобы их было удобно рассматривать без поворота записки или с поворотом по часовой стрелке. Иллюстрации и таблицы, которые расположены на отдельных листах текста, включают в общую нумерацию страниц. Если их размеры больше формата А4, их размещают на листе формата А3 и учитывают как одну страницу.

Иллюстрации и таблицы обозначают соответственно словами «рисунок» и «таблица» и нумеруют последовательно в пределах каждой главы. На все таблицы и иллюстрации должны быть ссылки в тексте. Слова «рисунок», «таблица» в подписях к рисунку, таблице и в ссылках на них **не сокращают**.

Номер иллюстрации (таблицы) должен состоять из номера главы и порядкового номера иллюстрации (таблицы), разделенных точкой. Например: «рисунок 1.2» (второй рисунок первой главы), «таблица 2.5» (пятая таблица второй главы). Если в главах расчетно-пояснительной записки приведено лишь по одной иллюстрации (таблице), то их нумеруют последовательно в пределах текста в целом, например: «рисунок 1», «таблица 3».

Иллюстрации должны быть выполнены с помощью средств компьютерной графики либо чернилами или тушью на белой непрозрачной бумаге. Качество иллюстраций должно обеспечивать возможность их четкого копирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **ТКП 45-2.04-43-2006** (02250). Строительная теплотехника. – Минск : Минстройархитектуры, 2007.

2 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций зданий: пособие 04. 01-96 к СНБ 01. 01-93. – Минск : Минстройархитектуры, 1996.

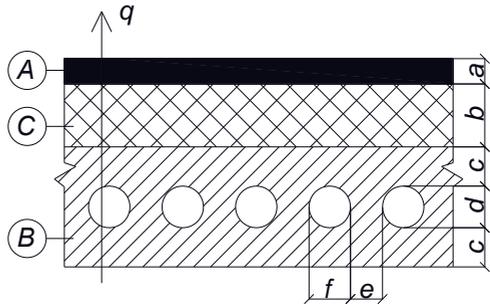
3 **СНБ4.02.01-03**. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Минск : Минстройархитектуры, 2004.

4 **Сапожников, С. З.** Техническая термодинамика и теплопередача : учеб. для вузов / С. З. Сапожников, Э. Л. Китанин. – СПб. : СПбГТУ, 1999. – 319 с.

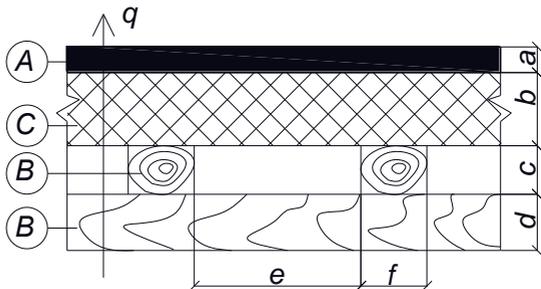
ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

Схемы конструкций горизонтальных перекрытий зданий

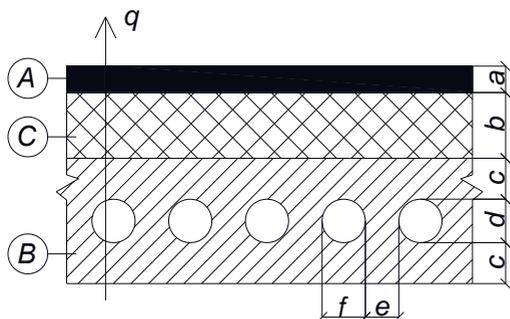
Номер варианта	Геометрические размеры слоёв, м						Материалы слоёв		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
01	0,015	<i>x</i>	0,15	0,10	0,30	0,10	136	01	122
11	0,020	<i>x</i>	0,25	0,10	0,35	0,10	137	01	123
21	0,025	<i>x</i>	0,30	0,10	0,40	0,10	138	03	124



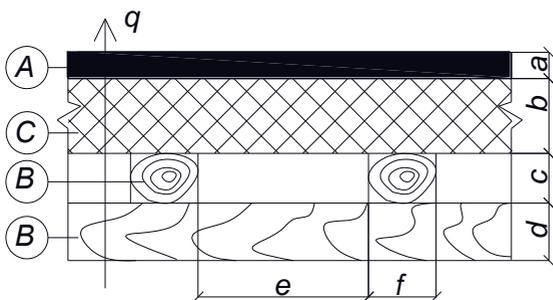
Номер варианта	Геометрические размеры слоёв, м						Материалы слоёв	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>A</i>	<i>B</i>
02	0,020	0,30	0,15	0,20	0,35	0,15	136	78
12	0,030	0,35	0,10	0,15	0,45	0,10	140	80
22	0,025	0,40	0,20	0,15	0,50	0,20	141	78



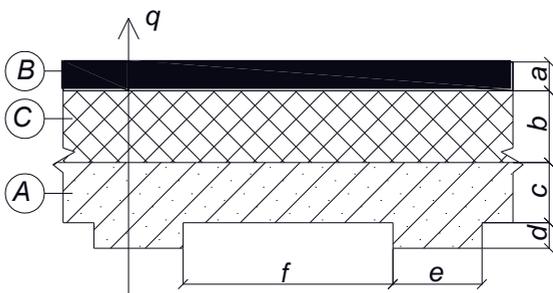
Номер варианта	Геометрические размеры слоёв, м						Материалы слоёв		
	a	b	c	d	e	f	A	B	C
03	0,010	x	0,20	0,10	0,25	0,10	136	03	125
13	0,015	x	0,15	0,10	0,30	0,10	137	01	126
23	0,020	x	0,25	0,10	0,35	0,10	138	03	127



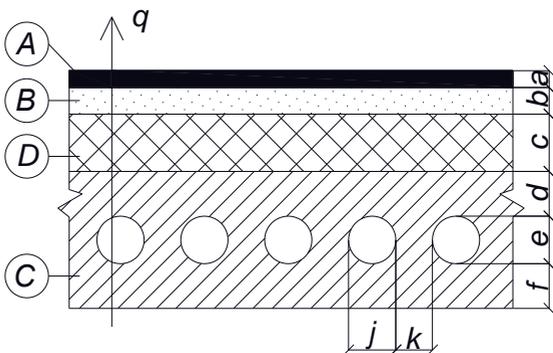
Номер варианта	Геометрические размеры слоёв, м						Материалы слоёв	
	a	b	c	d	e	f	A	B
04	0,015	0,35	0,15	0,20	0,55	0,15	142	78
14	0,020	0,30	0,15	0,20	0,35	0,15	138	80
24	0,025	0,40	0,20	0,15	0,50	0,20	137	80



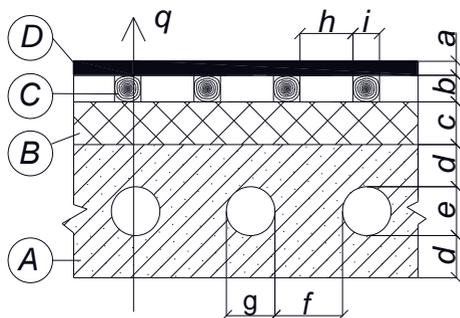
Номер варианта	Геометрические размеры слоёв, м						Материалы слоёв		
	a	b	c	d	e	f	A	B	C
05	0,010	x	0,20	0,25	0,15	0,40	04	137	127
15	0,015	x	0,25	0,30	0,35	0,40	05	140	130
25	0,010	x	0,30	0,20	0,25	0,40	06	138	123



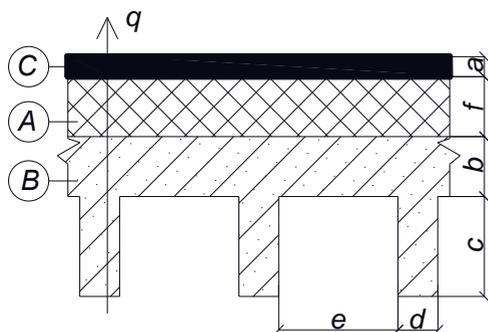
Номер варианта	Геометрические размеры слоёв, м								Материалы слоёв			
	a	b	c	d	e	f	j	k	A	B	C	D
06	0,015	0,25	x	0,20	0,10	0,20	0,10	0,30	141	122	01	99
16	0,005	0,15	x	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30	142	123	03	100
26	0,010	0,20	x	0,30	0,10	0,30	0,10	0,30	140	124	04	101



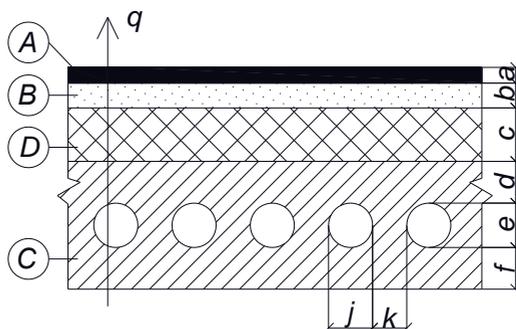
Номер варианта	Геометрические размеры слоёв, м							Материалы слоёв			
	a	b	c	$d = h$	$e = g$	f	i	A	B	C	D
07	0,010	0,10	x	0,20	0,10	0,20	0,10	01	122	78	136
17	0,015	0,15	x	0,15	0,10	0,20	0,15	02	123	78	137
27	0,005	0,20	x	0,25	0,10	0,20	0,20	03	128	80	141



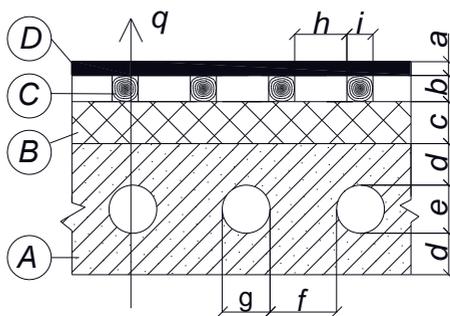
Номер варианта	Геометрические размеры слоёв, м						Материалы слоёв		
	a	b	c	d	e	f	A	B	C
08	0,020	0,25	0,30	0,10	0,20	0,20	x	03	140
18	0,015	0,15	0,25	0,10	0,30	0,25	x	02	141
28	0,010	0,30	0,15	0,10	0,40	0,15	x	01	136



Номер варианта	Геометрические размеры слоёв, м								Материалы слоёв			
	a	b	c	d	e	f	j	k	A	B	C	D
09	0,005	0,25	x	0,20	0,10	0,20	0,10	0,30	142	125	05	102
19	0,020	0,15	x	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30	141	126	06	103
29	0,015	0,20	x	0,30	0,10	0,30	0,10	0,30	140	124	03	106



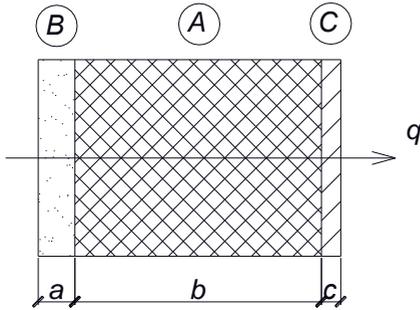
Номер варианта	Геометрические размеры слоёв, м								Материалы слоёв			
	a	b	c	$d = h$	$e = g$	f	i	A	B	C	D	
10	0,010	0,10	x	0,20	0,10	0,20	0,10	04	129	80	138	
20	0,015	0,15	x	0,15	0,10	0,20	0,15	05	126	78	139	
30	0,005	0,20	x	0,25	0,10	0,20	0,20	06	127	78	140	



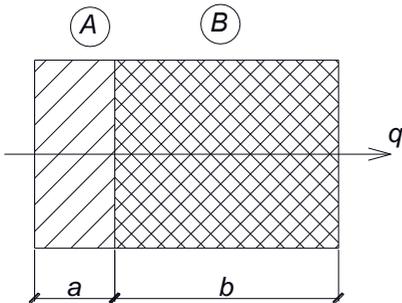
ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)

Схемы вертикальных ограждающих конструкций зданий

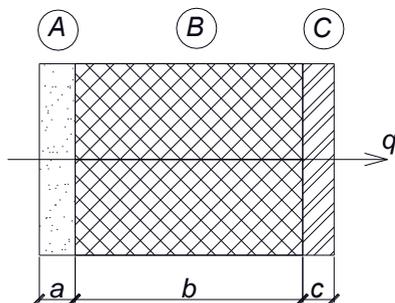
Номер варианта	Геометрические размеры слоев, м			Материалы слоев		
	a	b	c	A	B	C
01	0,25	x	0,030	99	52	65
11	0,25	x	0,025	105	53	67
21	0,25	x	0,035	108	57	71



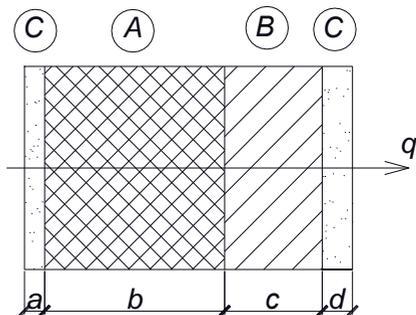
Номер варианта	Геометрические размеры слоев, м		Материалы слоев	
	a	b	A	B
02	0,45	x	01	103
12	0,38	x	04	100
22	0,55	x	13	110



Номер варианта	Геометрические размеры слоев, м			Материалы слоев		
	a	b	c	A	B	C
03	0,25	x	0,03	54	108	67
13	0,25	x	0,42	57	112	53
23	0,25	x	0,54	56	101	52

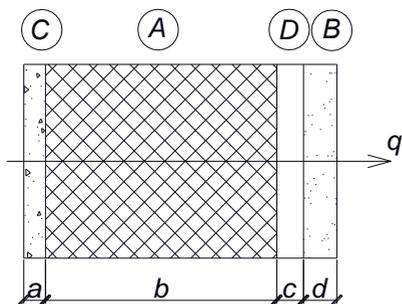


Номер варианта	Геометрические размеры слоев, м				Материалы слоев		
	a	b	c	d	A	B	C
04	0,02	x	0,30	0,04	113	02	39
14	0,03	x	0,45	0,02	115	29	40
24	0,04	x	0,35	0,03	105	27	44

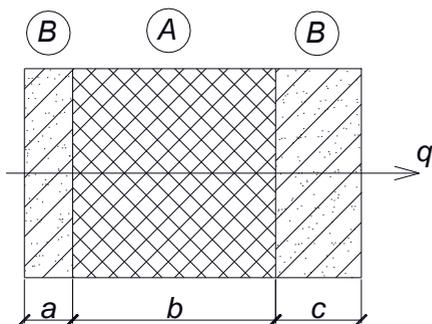


Номер варианта	Геометрические размеры слоев, м				Материалы слоев			
	a	b	c	d	A	B	C	D
05	0,020	0,25	0,015	0,03	x	39	52	В.п.
15	0,015	0,025	0,020	0,03	x	41	56	В.п.
25	0,030	0,025	0,020	0,03	x	44	54	В.п.

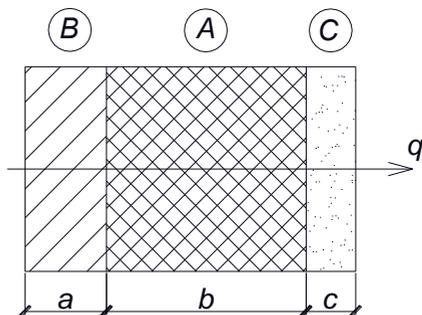
Примечание – В.п. – воздушная прослойка



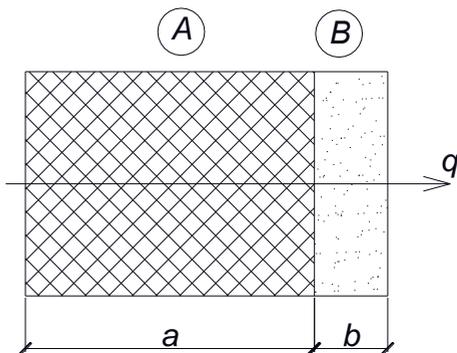
Номер варианта	Геометрические размеры слоев, м			Материалы слоев	
	a	b	c	A	B
06	0,12	x	0,25	99	52
16	0,12	x	0,25	109	53
26	0,12	x	0,25	119	55
36	0,12	x	0,25	122	57



Номер варианта	Геометрические размеры слоев, м			Материалы слоев		
	a	b	c	A	B	C
07	0,30	x	0,030	99	01	62
17	0,45	x	0,035	107	02	66
27	0,40	x	0,040	122	03	57

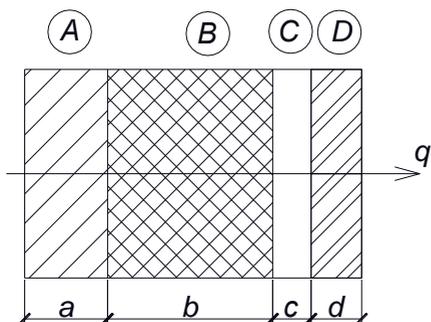


Номер варианта	Геометрические размеры слоев, м		Материалы слоев	
	a	b	A	B
08	x	0,25	119	58
18	x	0,35	102	03
28	x	0,25	112	59

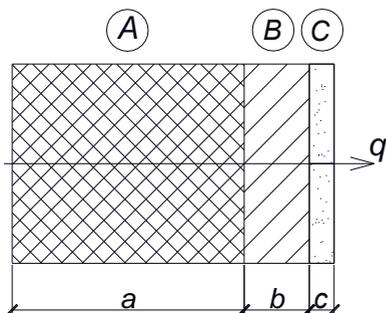


Номер варианта	Геометрические размеры слоев, м				Материалы слоев			
	a	b	c	d	A	B	C	D
9	25	x	0,06	0,035	53	101	В.п.	69
19	25	x	0,07	0,025	54	110	В.п.	70
29	25	x	0,05	0,030	55	124	В.п.	71

Примечание – В. п. – воздушная прослойка



Номер варианта	Геометрические размеры слоев, м			Материалы слоев		
	a	b	c	A	B	C
10	x	25	0,15	111	55	0,035
20	x	25	0,20	126	56	0,025
30	x	25	0,25	131	57	0,030



ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)

**Высота зданий от поверхности земли до верха карниза
для расчета сопротивления воздухопроницанию**

Вариант задания	Высота H , м	Вариант задания	Высота H , м
01	14	11	28
02	21	12	26,5
03	24,5	13	27
04	28	14	34
05	32	15	21
06	18	16	24
07	25	17	38
08	41	18	41
09	45	19	17
10	16	20	20

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(обязательное)

Пример оформления бланка задания

Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь
УО «Белорусский государственный университет транспорта»

Кафедра «Экология и энергоэффективность в техносфере»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

«___» _____ 201_ г.

ЗАДАНИЕ №__
на курсовую работу

(ФИО студента)

ПК-31

(группа)

Дисциплина «Теплотехника
и теплотехническое оборудование»

Тема: «Теплотехнический расчет ограждающих конструкций»

Цель работы: формирование знаний, умений и навыков по расчету термического сопротивления, сопротивления воздухо- и паропрооницанию вертикальных и горизонтальных ограждающих конструкций, а также распределения температурного поля в многослойной конструкции.

Содержание пояснительной записки (оформляется в соответствии с принятым стандартом):

- 1 Расчет сопротивления теплопередаче вертикальных и горизонтальных ограждающих конструкций;
- 2 Расчет температурного поля в многослойной конструкции;
- 3 Определение сопротивления паропрооницанию вертикальных и горизонтальных ограждающих конструкций;
- 4 Расчет сопротивления воздухопроницанию.
- 5 Список использованной литературы

Состав, предоставляемых к защите документов:

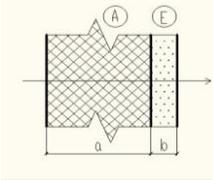
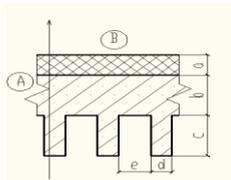
- 1 Пояснительная записка.

Календарный график выполнения курсовой работы

Наименование этапов	Срок выполнения этапов
Расчет термического сопротивления наружной стены из штучных материалов	02.04.201_г.
Расчет термического сопротивления совмещенного покрытия здания	09.04.201_г.
Расчет температурного поля в многослойной конструкции	14.04.201_г.
Расчет сопротивления паропрооницанию наружной стены	28.04.201_г.
Расчет сопротивления паропрооницанию чердачного перекрытия	05.05.201_г.
Расчет сопротивления воздухопроницанию	19.05.201_г.

Исходные данные

Тип здания	Административное
Территориальное расположение здания	г. Гомель
Режим эксплуатации помещений	А
Режим эксплуатации ограждающих конструкций	Сухой
Высота здания, м	41

Схема вертикальной ограждающей конструкции		Схема конструкции горизонтального перекрытия				
						
Геометрические размеры, м		Геометрические размеры, м				
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
<i>x</i>	0,35	0,15	0,15	0,25	0,10	0,3
Материалы слоев		Материалы слоев				
А	Е	А		В		
Изделие из вспученного перлита на битумном связующем	Плотный силикатный бетон	Плиты минераловатные на синтетическом связующем		Бетон на гравии или щебне из природного гравия		

Дата предоставления курсового проекта к защите « » мая 201 г.

Дата выдачи задания « » марта 201 г.

Задание принял к исполнению _____ (подпись студента)

Руководитель работы _____

Учебное издание

КОЛДАЕВА Светлана Николаевна
МОХАРЕВА Светлана Петровна

**ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *А.А. Павлюченкова*
Технический редактор *В.Н. Кучерова*

Подписано в печать 08.07.2016 г. Формат 60x84 $\frac{1}{16}$
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 3,49. Уч.-изд. л. 3,18. Тираж 70 экз.
Зак. № _____. Изд. № 79

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№1/361 от 13.06.2014.
№2/104 от 01.04.2014.
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель