МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела и строительства
Кафедра *«Городское строительство и архитектура»*

Методические указания

к лабораторным работам

по дисциплине

«Строительная физика»

курс

«Строительная теплотехника»

Методические указания для студентов заочного обучения

Тула 2016

Разработали А.Е. Жидков
к.т.н., доцент кафедры ГСиАрх,
П.Н. Чеботарев
к.т.н., ассистент кафедры ГСиАрх

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОДНОРОДНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ 4

1.1. Теоретические предпосылки расчета 4

1.1.1. Определение требуемого значения приведенного сопротивления теплопередаче 5

1.1.2. Определение приведенного сопротивления теплопередаче однородной ОК 8

1.2. Методика расчета однородной ОК 10

1.3. Пример 1. Теплотехнический расчет однородной ОК 11

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ КОНДЕНСАТА НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОК 14

1.4. Теоретические предпосылки расчета 14

1.4.1. Определение температуры внутренней поверхности ограждения 16

1.4.2. Определение температуры точки росы 19

1.5. Пример 2. Определение возможности образования конденсата на внутренней поверхности ОК 22

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ЗОНЫ ВЛАЖНОСТИ ТЕРРИТОРИИ БЫВШЕГО СССР 25

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ 26

ЛИТЕРАТУРА 31

ЛР №1. Теплотехнический расчет однородных ограждающих конструкций

1.1. Теоретические предпосылки расчета

Целью теплотехнического расчета ограждающей конструкции (ОК) является либо подбор для неё таких материалов и их толщин, чтобы приведенное сопротивление теплопередаче этой конструкции было не менее требуемого, либо проверка уже спроектированной конструкции на удовлетворение тому же требованию.

Требуемое сопротивление теплопередаче назначается при этом из санитарно-гигиенических и комфортных условий или из соображений энергосбережения.

Однородной – однослойной или многослойной – считается ОК, состоящая из одного или нескольких однородных плоских слоев материалов, расположенных перпендикулярно направлению теплового потока. Для такой конструкции, если она является достаточно протяженной, чтобы можно было пренебречь краевыми эффектами, распределение температуры можно условно считать одномерным (изменяющимся только по толщине конструкции).

Кроме того, предполагается, что распределение температуры является стационарным (рассматривается установившийся процесс передачи тепла). То есть достаточно долго сохранялись температуры внутренней и внешней сред, которые разделяет конструкция, чтобы распределение температуры внутри нее установилось и больше не изменялось.

Таким образом, расчет делается для некоторых идеальных условий, так как в реальной конструкции, с одной стороны, всегда имеются элементы, вносящие теплотехническую неоднородность (проемы, углы, выступы…), вследствие чего распределение температуры не является одномерным, а, с другой стороны, процесс теплопередачи никогда не является стационарным, так как температуры наружной и внутренней сред постоянно меняются.

Расчет производится для зимних условий.

Приведенное сопротивление теплопередаче ОК R_o следует принимать в соответствии с заданием на проектирование, но не менее требуемых значений R_o^{mp}, м^2·°С/Вт.

$$R_o \geq R_o^{mp}. \qquad (1)$$

1.1.1. Определение требуемого значения приведенного сопротивления теплопередаче

Значения $R_o^{тр}$ определяются, исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий – по формуле (3), и условий энергосбережения – по табл. 1. В дальнейший расчет должно вводиться максимальное из полученных значений.

Для зданий с влажным и мокрым режимом эксплуатации, зданий, предназначенных для сезонной эксплуатации (осенью или весной), и зданий с расчетной температурой внутреннего воздуха 12 °С и ниже, а также для внутренних стен, перегородок и перекрытий между помещениями при разности расчетных температур воздуха в этих помещениях более 6 °С, приведенное сопротивление теплопередаче ОК следует принимать не ниже значений, определяемых только по формуле (3).

Табл. 1

Здания и помещения	**Градусо-сутки отопительного периода,** °С·сут	**Приведенное сопротивление теплопередаче ОК, м²·°С/Вт**				
		Стен	**Покрытий и перекрытий над проездами**	**Перекрытий чердачных, над холодными подпольями и подвалами**	**Окон и балконных дверей**	**Фонарей**
Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	2000	2,1	3,2	2,8	0,35	0,25
	4000	2,8	4,2	3,7	0,4	0,3
	6000	3,5	5,2	4,6	0,45	0,35
	8000	4,2	6,2	5,5	0,5	0,4
	10000	4,9	7,2	6,4	0,55	0,45
	12000	5,6	8,2	7,3	0,6	0,5
Общественные, кроме указанных выше, административные, бытовые, за исключением помещений с влажным и мокрым режимом	2000	1,6	2,4	2,0	0,33	0,23
	4000	2,4	3,2	2,7	0,38	0,28
	6000	3,0	4,0	3,4	0,43	0,33
	8000	3,6	4,8	4,1	0,48	0,38
	10000	4,2	5,6	4,8	0,53	0,43
	12000	4,8	6,4	5,5	0,58	0,48
Производственные с сухим и нормальным режимами	2000	1,4	2,0	1,4	0,21	0,19
	4000	1,8	2,5	1,8	0,24	0,22
	6000	2,2	3,0	2,2	0,27	0,25
	8000	2,6	3,5	2,6	0,3	0,28
	10000	3,0	4,0	3,0	0,33	0,31
	12000	3,4	4,5	3,4	0,36	0,34

Примечание. Промежуточные значения $R_o^{тр}$ следует определять интерполяцией.

Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) следует определять по формуле

$$ГСОП = (t_в - t_{оп}) \cdot z_{оп}, \quad (2)$$

где

$t_в$ – расчетная температура, °С внутреннего воздуха, принимаемая согласно ГОСТ 12.1.005-76 и нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений. Например, для жилых комнат и кухонь жилых зданий в соответствии с главой СНиП «Жилые здания» расчетная температура внутреннего воздуха должна приниматься равной 18 °С, а в районах со средней температурой наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 минус 31 °С и ниже – 20 °С; в ванных – 25 °С и т.д;

$t_{оп}$ – средняя температура, °С, отопительного периода (периода со среднесуточной температурой воздуха не выше 8 °С) по СНиП 2.01.01-82 [2];

$z_{оп}$ – продолжительность, сут, отопительного периода по СНиП 2.01.01-82;

Требуемое сопротивление теплопередаче по комфортным и санитарно-гигиеническим условиям определяется по формуле

$$R_o^{тр} = \frac{n \cdot (t_в - t_н)}{\Delta t^н \cdot \alpha_в}. \qquad (3)$$

Здесь

n – безразмерный коэффициент, учитывающий положение ОК по отношению к наружному воздуху. Если конструкция не соприкасается непосредственно с наружным воздухом (чердачное или подвальное перекрытие и т.п.), то этот коэффициент понижает перепад между температурами внутреннего и наружного воздуха. Значения n принимаются по табл. 2.

Табл. 2

Ограждающие конструкции	**Коэффициент n**
1. Наружные стены и покрытия (в том числе вентилируемые наружным воздухом), перекрытия чердачные (с кровлей из штучных материалов) и над проездами; перекрытия над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительно-климатической зоне	1
2. Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытия чердачные (с кровлей из рулонных материалов); перекрытия над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительно-климатической зоне	0,9
3. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	0,75
4. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенные выше уровня земли	0,6
5. Перекрытия над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	0,4

$t_в$ – то же, что и в формуле (2);

$t_н$ – расчетная зимняя температура наружного воздуха равная температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по СНиП 2.01.01-82, °С;

$\Delta t^{н}$ – нормативный температурный перепад между температурами внутреннего воздуха и внутренней поверхности ОК, °С. Это один из показателей комфортности помещения: чем меньше перепад, тем комфортнее в помещении чувствует себя человек, т.к. низкая температура ОК приводит к сильному оттоку тепла на их нагрев. Кроме того, для любых помещений этот перепад должен быть таким, чтобы температура внутренней поверхности конструкции была выше температуры точки росы. Значения $\Delta t^{н}$ принимаются по табл. 3;

Табл. 3

Здания и помещения	**Нормируемый температурный перепад $\Delta t^{н}$, °С, для**		
	наружных стен	**покрытий и чердачных перекрытий**	**перекрытий над проездами, подвалами и подпольями**
1. Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	4,0	3,0	2,0
2. Общественные, кроме указанных в п.1, административные и бытовые за исключением помещений с влажным или мокрым режимами	4,5	4,0	2,5
3. Производственные с сухим и нормальным режимами	$t_в$-$t_р$, но не более 7	0,8·($t_в$-$t_р$), но не более 6	2,5
4. Производственные и другие помещения с влажным или мокрым режимами	$t_в$-$t_р$	0,8·($t_в$-$t_р$)	2,5

$t_р$ - температура точки росы, °С, при расчетной температуре и относительной влажности внутреннего воздуха, принимаемым по ГОСТ 12.1.005-88, СНиП 2.04.05-91 и нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений;

$\alpha_в$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ОК, Вт/м^2·°С. Он характеризует интенсивность теплообмена между поверхностью ОК и средой. Значения $\alpha_в$ принимаются по табл. 4.

Табл. 4

Внутренняя поверхность ограждающей конструкции	**Коэффициент теплоотдачи $\alpha_в$, Вт/м^2·°С**
1. Стен, полов, гладких потолков, потолков с выступающими ребрами при отношении высоты *h* ребер к расстоянию *a* между гранями соседних ребер $\frac{h}{a} \le 0{,}3$	8,7
2. Потолков с выступающими ребрами при отношении $\frac{h}{a} > 0{,}3$	7,6
3. Зенитных фонарей	9,9

Примечания:

1. *При определении требуемого сопротивления теплопередаче внутренних ОК в формуле (3) следует принимать n=1 и вместо $t_н$ – расчетную температуру воздуха более холодного помещения.*
2. *В качестве расчетной зимней температуры наружного воздуха, $t_н$, для зданий, предназначенных для сезонной эксплуатации, следует принимать минимальную температуру наиболее холодного месяца, определяемую по СНиП 2.01.01-82 с учетом среднесуточной амплитуды температуры наружного воздуха.*

1.1.2. Определение приведенного сопротивления теплопередаче однородной ОК

Приведенное сопротивление теплопередаче ОК определяется по формуле (4).

$$R_o = \frac{1}{\alpha_в} + R_к + \frac{1}{\alpha_н}. \qquad (4)$$

Здесь

$\alpha_в$ – то же, что в формуле (3). Величина $\frac{1}{\alpha_в}$ представляет собой сопротивление теплопередаче восприятию при передаче тепла от внутренней среды к ОК;

$\alpha_н$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ОК для зимних условий, Вт/м^2·°С. Величина $\frac{1}{\alpha_н}$ представляет собой сопротивление теплоотдаче в процессе передачи тепла от ОК к наружной среде и характеризует интенсивность теплообмена ОК с этой средой. Значения $\alpha_н$ принимаются по табл. 5;

Табл. 5

Наружная поверхность ОК	**Коэффициент теплоотдачи $\alpha_н$ для зимних условий, м^2·°С/Вт**
1. Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительно-климатической зоне	23
2. Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительно-климатической зоне	17
3. Перекрытий чердачных и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах, а также наружных стен с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом	12
4. Перекрытий над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	6

$R_к$ – термическое сопротивление ОК, м^2·°С/Вт. Для однородной ОК определяется по формуле (5).

$$R_к = \sum_{i=1}^{m} R_i \,, \qquad (5)$$

где

m – число слоев в однородной ОК;

R_i – термическое сопротивление i-го слоя ОК, м^2·°С/Вт;

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}; \qquad (6)$$

δ_i – толщина слоя, м;

λ_i – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/м·°С, принимаемый по приложению 2. Расчетные теплотехнические показатели строительных материалов приводятся в этом приложении в зависимости от условий эксплуатации ОК (А или Б), табл. 7. Последние, в свою очередь, зависят от зоны влажности, в которой расположен данный населенный пункт, и от влажностного режима помещений. Зону влажности можно определить по карте приложения 1, а влажностный режим помещений принимается в зависимости от заданных температуры и относительной влажности внутреннего воздуха в период эксплуатации помещения по табл. 6. Они обычно приводятся в задании на проектирование или в нормах проектирования соответствующих помещений.

Табл. 6

Режим	**Относительная влажность внутреннего воздуха, %, при температуре**		
	до 12 °С	**св. 12 до 24 °С**	**св. 24 °С**
Сухой	До 60	До 50	До 40
Нормальный	Св. 60 до 75	Св. 50 до 60	Св. 40 до 50
Влажный	Св. 75	Св. 60 до 75	Св. 50 до 60
Мокрый	-	Св. 75	Св. 60

Табл. 7

Влажностный режим помещений	**Условия эксплуатации в зонах влажности**		
	сухой	**нормальной**	**влажной**
Сухой	А	А	Б
Нормальный	А	Б	Б
Влажный или мокрый	Б	Б	Б

Примечания:

1. *Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ОК, не учитываются.*
2. *Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки принимается по табл. 8.*

Табл. 8

Толщина воздушной прослойки, м	Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, $м^2 \cdot °C/Вт$			
	горизонтальной при потоке тепла снизу вверх и вертикальной		горизонтальной при потоке тепла сверху вниз	
	при температуре воздуха в прослойке			
	+	-	+	-
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,1	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,2-0,3	0,15	0,18	0,19	0,24

Примечание. При оклейке одной или обеих поверхностей воздушной прослойки алюминиевой фольгой термическое сопротивление следует увеличивать в 2 раза.

1.2. Методика расчета однородной ОК

А) Определяем величину R_o^{mp} из соображений энергосбережения:

1. Уясняем вид и конструкцию ОК и назначение помещения.

2. По СНиП 2.01.01-82 определяем температуру наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, среднюю температуру и продолжительность отопительного периода.

3. Вычисляем ГСОП по формуле (2).

4. Определяем величину R_o^{mp}, назначаемую из экономических соображений, по табл. 1.

Б) Определяем величину R_o^{mp} из санитарно-гигиенических и комфортных условий:

1. По таблицам 2, 3, 4 определяем соответственно величины n, $\Delta t^н$, $\alpha_в$.

2. Принимаем величину $t_в$ в соответствии с нормами проектирования помещений заданного назначения.

3. Принимаем величину $t_н$ равной температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

4. Определяем R_o^{mp} по формуле (3).

В) В дальнейший расчет вводим максимальную из величин, полученных в п.п. А.4, Б.4.

Г) Определяем зону влажности по карте приложения 1.

Д) Определяем влажностный режим помещения по табл. 6 или по заданию.

Е). Определяем условия эксплуатации ОК по табл. 7.

Ж) Из приложения 2 выписываем расчетные коэффициенты теплопроводности для материалов всех слоев ОК.

3) Если материалы и толщины всех слоев известны, то проверяем ОК на удовлетворение требованию (1):

1. Вычисляем термические сопротивления слоев по формуле (6).

2. Вычисляем термическое сопротивление ОК по формуле 5 с учетом примечаний, касающихся воздушных прослоек.

3. Вычисляем приведенное сопротивление ОК теплопередаче по формуле (4), определив значение $\alpha_н$ по табл. 5.

4. Проверяем условие (1) и делаем вывод о соответствии конструкции ОК заданным условиям.

Если требуется подобрать толщину утепляющего слоя, материал которого известен:

1. Подставляем в условие (1) выражение для приведенного сопротивления ОК теплопередаче (4).

2. В полученную формулу подставляем выражение для $R_к$ (5) и раскрываем его, подставляя выражения для термических сопротивлений отдельных слоев (6).

3. Выражаем из полученной формулы толщину утепляющего слоя и проводим вычисления.

4. Оцениваем, реальна ли для данной конструкции полученная толщина утепляющего слоя, приводим ее в соответствие конструктивным особенностям ОК, требованиям унификации и т.п. и вычисляем фактическое приведенное сопротивление ОК теплопередаче по формуле (4).

5. Делаем вывод, описывая запроектированную ОК и условия ее эксплуатации.

Если требуется подобрать материал утепляющего слоя, толщина которого известна:

1. Выполняем п.п. 1, 2 из предыдущей задачи.

2. Выражаем из полученной формулы коэффициент теплопроводности материала утепляющего слоя и вычисляем его.

3. По приложению 2 подбираем материал с близким коэффициентом теплопроводности (отличие в большую сторону не более 5 %, в меньшую - любое), учитывая, можно ли применить этот материал в данной конструкции.

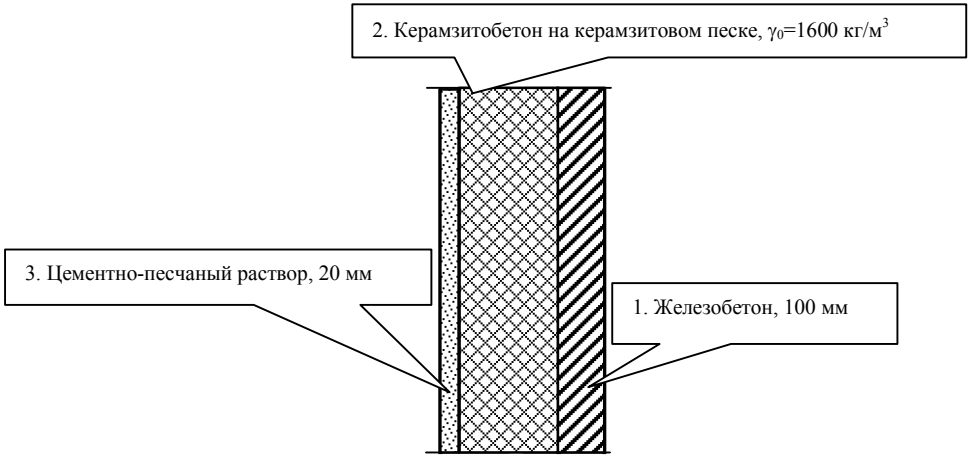
4. Вычисляем фактическое сопротивление ОК теплопередаче.

5. Делаем вывод, описывая запроектированную ОК и условия ее эксплуатации.

1.3. Пример 1. Теплотехнический расчет однородной ОК

Задание: подобрать толщину утепляющего слоя для двухслойной стеновой панели, эксплуатируемой в жилом здании в г. Москве. Конструкция панели: внутренний несущий слой – железобетон, 100 мм, утепляющий слой – керамзитобетон на керамзи-

товом песке плотностью γ_0=1600 кг/м^3, наружный отделочный слой – штукатурка из цементно-песчаного раствора, 20 мм. Максимальная толщина стеновой панели – 500 мм.



1. Определяем требуемое приведенное сопротивление ОК теплопередаче из условий энергосбережения:

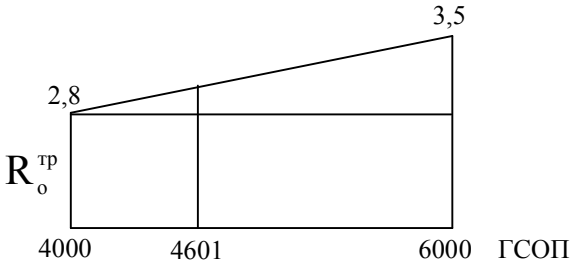
По СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика» определяем для г. Москвы: $t_{5сут}^{0,92} = -26\,°C; t_{оп} = -3{,}6\,°C; z_{оп} = 213\,сут.$

В соответствии с главой СНиП «Жилые здания» расчетную температуру внутреннего воздуха принимаем 18 °С, т.к. $t_{5сут}^{0,92} = -26\,°C > -31\,°C$.

Вычисляем градусо-сутки отопительного периода:

$$ГСОП = (t_в - t_{оп}) \cdot z_{оп} = [18 - (-3{,}6)] \cdot 213 = 4601\,°C \cdot сут.$$

По табл. 1, применяя интерполяцию, определяем значение $R_o^{тр}$: для стен жилых зданий при ГСОП=4000 °С·сут, $R_o^{тр} = 2{,}8$ м^2·°С/Вт, а при ГСОП=6000 °С·сут, $R_o^{тр} = 3{,}5$ м^2·°С/Вт. Геометрическая интерпретация линейной интерполяции представлена на рисунке. Значение $R_o^{тр}$, соответствующее ГСОП=4601 °С·сут, вычисляем:



$$R_o^{тр} = \frac{3{,}5 - 2{,}8}{6000 - 4000} \cdot (4601 - 4000) + 2{,}8 = 3{,}01\ м^2 \cdot °C / Вт .$$

2. Определяем требуемое сопротивление теплопередаче из санитарно-гигиенических и комфортных условий:

По табл. 2 коэффициент n, учитывающий положение ОК по отношению к наружному воздуху равен 1.

По табл. 3 нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и внутренней поверхностью ОК $\Delta t^н$=4 °С.

По табл. 4 коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ОК $\alpha_в$=8,7 Вт/м^2·°С.

$$R_o^{тр} = \frac{n \cdot (t_в - t_н)}{\Delta t^н \cdot \alpha_в} = \frac{1 \cdot [18 - (-26)]}{4 \cdot 8{,}7} = 1{,}26\ м^2 \cdot °C / Вт .$$

В дальнейший расчет вводим значение $R_o^{тр} = 3{,}01\ м^2 \cdot °C / Вт$, полученное из условия энергосбережения, как максимальное.

3. По карте приложения 1 зона влажности – нормальная. Влажностный режим помещений нормальный (в соответствии с главой СНиП «Жилые здания» и табл. 6). По табл. 7 условия эксплуатации ОК – Б.

4. По приложению 2 принимаем расчетные коэффициенты теплопроводности использованных в конструкции материалов:

железобетон - λ_1=2,04 Вт/м·°С;

керамзитобетон на керамзитовом песке плотностью 1600 кг/м^3 - λ_2=0,79 Вт/м·°С;

цементно-песчаный раствор - λ_3=0,93 Вт/м·°С.

5. В основном условии теплотехнического расчета $R_o \geq R_o^{тр}$ приравниваем правую и левую части, подставляем выражение для R_o и раскрываем его для случая трехслойной ОК:

$$\frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_н} = R_o^{тр} .$$

6. Выражаем из последнего уравнения толщину утепляющего слоя и вычисляем ее:

$$\delta_2 = \left(R_o^{тр} - \frac{1}{\alpha_в} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_3}{\lambda_3} - \frac{1}{\alpha_н} \right) \cdot \lambda_2 = \left(3{,}01 - \frac{1}{8{,}7} - \frac{0{,}1}{2{,}04} - \frac{0{,}02}{0{,}93} - \frac{1}{23} \right) \cdot 0{,}79 = 2{,}2\ м .$$

7. **Вывод**: толщина утепляющего слоя в 2,2 м нереальна для данной конструкции, так как общая толщина стеновой панели будет составлять при этом 0,1+2,2+0,02=2,32 м, а вес панели размером 3×3 м будет не менее (0,1×2500+2,2×1600+0,02×1800)×3×3=34254 кг (2500 и 1800 кг/м^3 – плотности соответственно железобетона и цементно-песчаного раствора в сухом состоянии). Таким образом, применение для утепляющего слоя керамзитобетона на керамзитовом песке плотностью 1600 кг/м^3 невозможно при заданных условиях эксплуатации.

8. Определим требуемый коэффициент теплопроводности утепляющего слоя при максимальной толщине панели 500 мм. Толщина утепляющего слоя при этом может составить δ_2=0,5–0,1–0,02=0,38 м.

Для этого выразим из общего условия теплотехнического расчета не толщину, а коэффициент теплопроводности утепляющего слоя:

$$\lambda_2 = \frac{\delta_2}{\left(R_o^{тр} - \frac{1}{\alpha_в} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_3}{\lambda_3} - \frac{1}{\alpha_н}\right)} = \frac{0{,}38}{\left(3{,}01 - \frac{1}{8{,}7} - \frac{0{,}1}{2{,}04} - \frac{0{,}02}{0{,}93} - \frac{1}{23}\right)} = 0{,}137\ Вт/м\cdot°C\ .$$

По приложению 2 определяем, что из легких бетонов, применяемых в производстве двухслойных панелей, близким коэффициентом теплопроводности обладает газобетон и пенобетон плотностью 300 кг/м^3 (λ=0,13 Вт/м·°С).

9. **Вывод**: принимаем следующую конструкцию двухслойной стеновой панели для эксплуатации в жилом здании г. Москвы: несущий слой – железобетон, 100 мм, утепляющий слой – газобетон плотностью 300 кг/м^3, 380 мм, отделочный слой – цементно-песчаный раствор, 20 мм.

Приведенное сопротивление теплопередаче стеновой панели данной конструкции составляет

$$R_o = \frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_н} = \frac{1}{8{,}7} + \frac{0{,}1}{2{,}04} + \frac{0{,}38}{0{,}13} + \frac{0{,}02}{0{,}93} + \frac{1}{23} = 3{,}15\ м^2\cdot°C/Вт\ ,$$

что больше требуемого сопротивления теплопередаче $R_o^{тр} = 3{,}01\ м^2\cdot°C/Вт$.

ЛР №2. Определение возможности образования конденсата на внутренней поверхности ОК

1.4. Теоретические предпосылки расчета

Атмосферный воздух всегда содержит некоторое количество влаги в виде паров. Количество влаги в граммах, содержащееся в 1 м^3 воздуха, называется **абсолютной влажностью** f [г/м^3]. Для расчетов удобнее оценивать количество водяного пара в единицах давления. С этой целью используется парциальное давление водяного пара e [Па] или [мм. рт. ст.], называемое **действительной упругостью водяного пара**.

Действительная упругость увеличивается с повышением абсолютной влажности воздуха, но не может возрастать беспредельно. При определенной температуре и барометрическом давлении воздуха имеет место **предельное значение абсолютной влажности** воздуха F [г/м^3], соответствующее полному насыщению воздуха водяным паром.

Далее влажность при тех же условиях повышаться не может. Этому значению соответствует **максимальная упругость водяного пара** E [Па] или [мм. рт. ст.], называемая также давлением насыщения водяного пара.

С повышением температуры воздуха предельные значения влажности (E и F) увеличиваются, следовательно, абсолютная влажность f и парциальное давление e не дают представления о степени насыщения воздуха влагой, если не указана его температура.

Чтобы выразить степень насыщения, вводится **понятие относительной влажности воздуха** φ [%]:

$$\varphi = \frac{e}{E} \cdot 100\% \,. \qquad (10)$$

Относительная влажность определяет:

- интенсивность испарения влаги с увлажненных поверхностей (в частности, с поверхности человеческого тела);
- процесс поглощения влаги строительными материалами (процесс сорбции);
- процесс конденсации влаги в воздухе и на поверхности конструкций.

При повышении температуры воздуха с заданным влагосодержанием (e=const), относительная влажность уменьшается, так как возрастает значение максимальной упругости водяного пара E. При понижении температуры относительная влажность растет, так как E понижается. В процессе понижения температуры при некотором ее значении максимальная упругость становится равной действительной упругости водяного пара e. При этом φ=100 % и наступает состояние полного насыщения воздуха водяным паром. Соответствующая этому моменту температура называется **температурой точки росы** $t_р$ для данной влажности воздуха. При понижении температуры ниже точки росы максимальная и действительная упругости будут понижаться, оставаясь равными, а излишек влаги будет конденсироваться, то есть переходить в капельно-жидкое состояние.

В зимнее время тонкий слой воздуха, непосредственно примыкающий к внутренней поверхности ограждающей конструкции, охлаждается до ее температуры и может достигнуть точки росы. Выпадающий при этом конденсат негативно сказывается на самочувствии пребывающих в помещении людей, вносит дискомфорт, вредно влияет на состояние строительных конструкций, мебели и т.п. Поэтому необходимо обеспечить на внутренней поверхности такую температуру $\tau_в$, чтобы $\tau_в > t_р$.

Целью проверочного расчета, таким образом, является, во-первых, определение температуры внутренней поверхности ОК и, во-вторых, температуры точки росы. Их сравнение позволяет сделать вывод о возможности образования конденсата на внутренней поверхности ОК.

1.4.1. Определение температуры внутренней поверхности ограждения

Задача определения температуры внутренней поверхности ОК легко решается в случае, если конструкция не содержит теплопроводных включений (например, имеющихся внутри ОК деталей из материалов, обладающих высокой теплопроводностью - металлических, железобетонных и т.д.). В этом случае, исходя из предпосылок, приведенных в разделе 1, температура внутренней поверхности ОК $\tau_в$ вычисляется по формуле (11)

$$\tau_в = t_в - \frac{n \cdot (t_в - t_н)}{R_o \cdot \alpha_в}. \qquad (11)$$

При наличии теплопроводных включений температуру внутренней поверхности ОК следует определять на основании расчета температурного поля конструкции. Это сложная задача, предполагающая решение дифференциального уравнения теплопроводности совместно с граничными условиями.

Однако для ряда теплопроводных включений (см. рисунок ниже) температуру внутренней поверхности ОК по теплопроводному включению $\tau_в^{'}$ допускается определять по приближенным формулам: для неметаллических теплопроводных включений – по формуле (12):

$$\tau_в^{'} = t_в - \frac{n \cdot (t_в - t_н)}{R_o^{усл} \cdot \alpha_в}\left[1 + \eta \cdot \left(\frac{R_o^{усл}}{R_o^{'}} - 1\right)\right], \qquad (12)$$

а для металлических включений – по формуле (13):

$$\tau_в^{'} = t_в - \frac{n \cdot (t_в - t_н)}{R_o^{усл} \cdot \alpha_в}\left[1 + \xi \cdot R_o^{усл} \cdot \alpha_в\right]. \qquad (13)$$

В формулах (11) – (13):

n, $\alpha_в$, $t_в$, $t_н$ – то же, что в формуле (3), но при этом для $t_в$, $t_н$ могут в зависимости от ситуации приниматься либо нормативные, либо фактические значения;

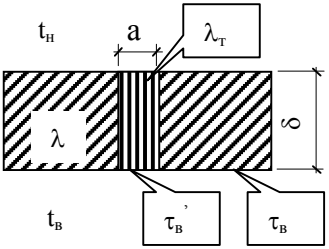
R_o – то же, что в формулах (4), (7);

$R_o^{'}$, $R_o^{усл}$ – сопротивление теплопередаче ОК, м^2·°С/Вт, соответственно в местах теплопроводного включения и вне этих мест, определяемые по формуле (4) (или (7) для теплотехнически неоднородной ОК);

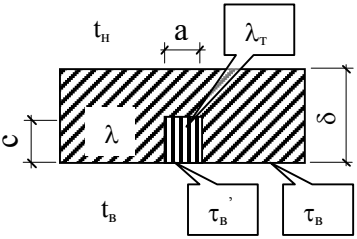
η, ξ – эмпирические коэффициенты, принимаемые по табл. 9, 10.

Схемы теплопроводных включений в ОК

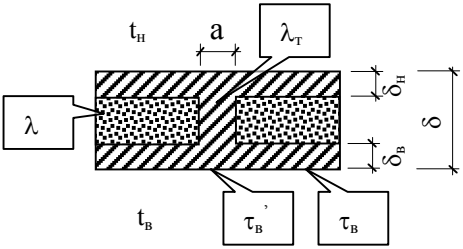
I



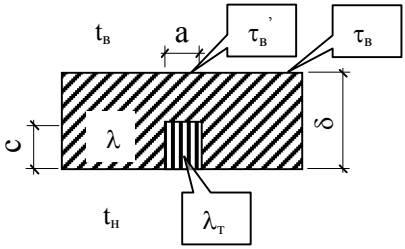
III



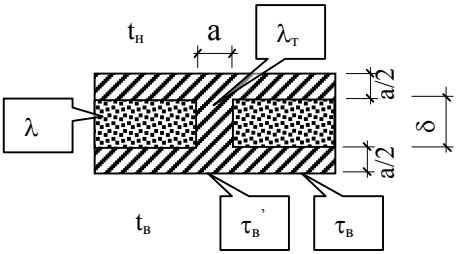
IIа



IV



IIб



V

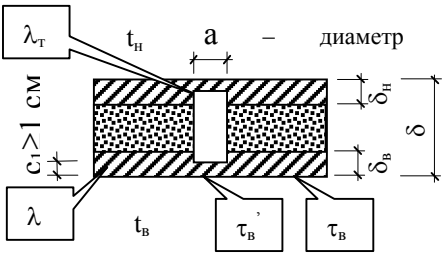


Таблица 9

Схема теплопроводного включения		Коэффициент η при $\frac{a}{\delta}$							
		0,1	**0,2**	**0,4**	**0,6**	**0,8**	**1,0**	**1,5**	**2,0**
I		0,52	0,65	0,79	0,86	0,90	0,93	0,95	0,98
IIа (при $\frac{\delta_в}{\delta_н}$)	0,5	0,30	0,46	0,68	0,79	0,86	0,91	0,97	1,00
	1,0	0,24	0,38	0,56	0,69	0,77	0,83	0,93	1,00
	2,0	0,19	0,31	0,48	0,59	0,67	0,73	0,85	0,94
	5,0	0,16	0,28	0,42	0,51	0,58	0,64	0,76	0,84
III (при $\frac{c}{\delta}$)	0,25	3,60	3,26	2,72	2,3	1,97	1,71	1,47	1,38
	0,50	2,34	2,26	1,97	1,76	1,62	1,48	1,31	1,22
	0,75	1,28	1,52	1,40	1,28	1,21	1,17	1,11	1,09
IV (при $\frac{c}{\delta}$)	0,25	0,16	0,28	0,45	0,57	0,66	0,74	0,87	0,95
	0,50	0,23	0,39	0,57	0,60	0,77	0,83	0,91	0,95
	0,75	0,29	0,47	0,67	0,78	0,84	0,88	0,93	0,95

Примечания:

1. *Для промежуточных значений $\frac{a}{\delta}$ коэффициент η следует определять интерполяцией.*
2. *При $\frac{a}{\delta}$ >2,0 следует принимать η=1.*
3. *Для параллельных теплопроводных включений типа IIа табличное значение коэффициента η следует принимать с поправочным множителем $1+e^{-5\cdot L}$ (где L – расстояние между включениями, м).*

Таблица 10

Схема теплопроводного включения		Коэффициент ξ при $\frac{a\cdot\lambda_т}{\delta\cdot\lambda}$								
		0,25	**0,5**	**1,0**	**2,0**	**5,0**	**10,0**	**20,0**	**50,0**	**150,0**
I		0,105	0,160	0,227	0,304	0,387	0,430	0,456	0,485	0,503
IIб		-	-	-	0,156	0,206	0,257	0,307	0,369	0,436
III (при $\frac{c}{\delta}$)	0,25	0,061	0,075	0,085	0,091	0,096	0,100	0,101	0,101	0,102
	0,50	0,084	0,112	0,140	0,160	0,178	0,184	0,186	0,187	0,188
	0,75	0,106	0,142	0,189	0,227	0,267	0,278	0,291	0,292	0,293
IV (при $\frac{c}{\delta}$)	0,25	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005
	0,50	0,006	0,008	0,011	0,012	0,014	0,017	0,019	0,021	0,022
	0,75	0,013	0,022	0,033	0,045	0,058	0,063	0,066	0,071	0,073
V (при $\frac{\delta_в}{\delta_н}$)	0,75	0,007	0,021	0,055	0,147	-	-	-	-	-
	1,00	0,006	0,017	0,047	0,127	-	-	-	-	-
	2,00	0,003	0,011	0,032	0,098	-	-	-	-	-

Примечания:

1. *Для промежуточных значений $\frac{a\cdot\lambda_т}{\delta\cdot\lambda}$ коэффициент ξ следует определять интерполяцией.*

2. *Для теплопроводного включения типа V при наличии плотного контакта между гибкими связями и арматурой (сварка или скрутка вязальной проволокой) в формуле (13) вместо* $R_o^{усл}$ *следует принимать* $R_o^{пр}$.

1.4.2. Определение температуры точки росы

Для определения температуры образования конденсата достаточно знать два параметра: относительную влажность воздуха φ (или действительную упругость водяного пара е) и температуру воздуха в помещении.

Относительную влажность воздуха можно определить с помощью приборов, например, при помощи психрометра Августа. Этот простейший прибор представляет собой два одинаковых спиртовых термометра, укрепленных на одной подставке, один из которых («сухой») показывает температуру внутреннего воздуха $t_в$, а второй («влажный»), конец которого обмотан марлей, свисающей в чашку с водой, дает более низкую температуру $t_{вл}$ вследствие испарения с его поверхности влаги. Зная показания влажного $t_{вл}$ и разность показаний сухого и влажного термометров Δt можно, воспользовавшись психрометрической таблицей (табл. 11), определить относительную влажность воздуха.

Таблица 11

Показания влажного термометра, °С	Относительная влажность воздуха, %, при разности показаний сухого и влажного термометров, °С																			
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
0	100	90	81	73	64	57	50	43	36	31	26	20	16	11	7	3					
1	100	90	82	73	66	59	52	45	39	33	29	23	19	15	11	7					
2	100	90	83	75	67	61	54	47	42	36	31	26	23	18	14	10					
3	100	90	83	76	69	63	56	49	44	39	34	29	26	21	17	13	10				
4	100	91	84	77	70	64	57	51	46	41	36	32	28	24	20	16	14	11			
5	100	91	85	78	71	65	59	54	48	43	39	34	30	27	23	19	17	13	10		
6	100	92	85	78	72	66	61	56	50	45	41	35	33	29	26	22	19	16	13	10	
7	100	92	86	79	73	67	62	57	52	47	43	39	35	31	28	25	22	18	15	12	11
8	100	92	86	80	74	68	63	59	54	48	45	41	37	33	30	27	25	21	18	15	14
9	100	93	86	81	75	70	65	60	55	51	47	43	39	35	32	29	27	24	21	18	17
10	100	94	87	82	76	71	66	61	57	53	48	45	41	38	34	31	28	26	23	21	19
11	100	94	88	82	77	72	67	62	58	55	50	47	43	40	36	33	30	28	25	23	20
12	100	94	88	82	78	73	68	63	59	56	52	48	44	42	38	35	32	30	27	25	22
13	100	94	88	83	78	73	69	64	61	57	53	50	46	43	40	37	34	32	29	27	24
14	100	94	89	83	79	74	70	66	62	58	54	51	47	45	41	39	36	34	31	29	26
15	100	94	89	84	80	75	71	67	63	59	55	52	49	46	43	41	37	35	33	31	28
16	100	95	90	84	80	75	72	67	64	60	57	53	50	48	44	42	39	37	34	32	30
17	100	95	90	84	81	76	73	68	65	61	58	54	52	49	46	44	40	38	36	34	31
18	100	95	90	85	81	76	74	69	66	62	59	56	53	50	47	45	42	40	37	35	33
19	100	95	91	85	82	77	74	70	66	63	60	57	54	51	48	46	43	41	39	37	34

20	100	95	91	86	82	78	75	71	67	64	61	58	55	53	49	47	44	43	40	38	36
21	100	95	91	86	83	79	75	71	68	65	62	59	56	54	51	49	46	44	41	39	37
22	100	95	91	87	83	79	76	72	69	65	63	60	57	56	52	50	47	45	42	40	38
23	100	96	91	87	83	80	76	72	69	66	63	61	58	56	53	51	48	46	43	41	39
24	100	96	92	88	84	80	77	73	70	67	64	62	59	56	53	52	49	47	44	42	40
25	100	96	92	88	84	81	77	74	70	68	65	63	59	57	54	52	50	47	45	44	42

Как уже говорилось выше, каждой температуре воздуха соответствует некоторое максимально возможное значение упругости водяного пара E (табл. 12). Вообще говоря, эта величина зависит также от давления, но этой зависимостью обычно пренебрегают.

Таблица 12

Значения максимальной упругости водяного пара E, мм. рт. ст., при давлении 755 мм. рт. ст.

t, °C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0.9
0	4,58	4,61	4,65	4,68	4,72	4,75	4,79	4,82	4,86	4,89
1	4,93	4,96	5,00	5,03	5,07	5,11	5,14	5,18	5,22	5,26
2	5,29	5,33	5,37	5,41	5,45	5,49	5,53	5,57	5,61	5,65
3	5,69	5,73	5,77	5,81	5,85	5,89	5,93	5,97	6,02	6,06
4	6,10	6,14	6,19	6,23	6,27	6,32	6,36	6,41	6,45	6,50
5	6,54	6,59	6,64	6,68	6,73	6,78	6,82	6,87	6,92	6,97
6	7,01	7,06	7,11	7,16	7,21	7,26	7,31	7,36	7,41	7,46
7	7,51	7,57	7,62	7,67	7,72	7,78	7,83	7,88	7,94	7,99
8	8,05	8,10	8,16	8,21	8,27	8,32	8,38	8,44	8,49	8,55
9	8,61	8,67	8,73	8,79	8,85	8,91	8,97	9,03	9,09	9,15
10	9,21	9,27	9,33	9,40	9,46	9,52	9,59	9,65	9,71	9,78
11	9,84	9,91	9,98	10,04	10,11	10,18	10,24	10,31	10,38	10,45
12	10,52	10,59	10,66	10,73	10,80	10,87	10,94	11,01	11,09	11,16
13	11,23	11,31	11,38	11,45	11,53	11,60	11,68	11,76	11,83	11,91
14	11,99	12,07	12,14	12,22	12,30	12,38	12,46	12,54	12,62	12,71
15	12,79	12,87	12,95	13,04	13,12	13,21	13,29	13,38	13,46	13,55
16	13,63	13,72	13,81	13,90	13,99	14,08	14,17	14,26	14,35	14,44
17	14,53	14,62	14,72	14,81	14,90	15,00	15,09	15,19	15,28	15,38
18	15,48	15,58	15,67	15,77	15,87	15,97	16,07	16,17	16,27	16,37
19	16,48	16,58	16,69	16,79	16,89	17,00	17,11	17,21	17,32	17,43
20	17,54	17,64	17,75	17,86	17,97	18,09	18,20	18,31	18,42	18,54
21	18,65	18,77	18,88	19,00	19,11	19,23	19,35	19,47	19,59	19,71
22	19,83	19,95	20,07	20,19	20,32	20,44	20,57	20,69	20,82	20,94
23	21,07	21,20	21,32	21,45	21,58	21,71	21,85	21,98	22,11	22,24
24	22,38	22,51	22,65	22,79	22,92	23,06	23,20	23,34	23,48	23,62
25	23,76	23,90	24,04	24,18	24,33	24,47	24,62	24,76	24,91	25,06
26	25,21	25,36	25,51	25,66	25,81	25,96	26,12	26,27	26,46	26,58
27	26,74	26,90	27,06	27,21	27,37	27,54	27,69	27,86	28,02	28,19
28	28,35	28,51	28,68	28,85	29,02	29,18	29,35	29,53	29,70	29,87
29	30,04	30,22	30,39	30,57	30,75	30,92	31,10	31,28	31,46	31,64
30	31,82	32,01	32,19	32,38	32,56	32,75	32,93	33,12	33,31	33,50
31	33,70	33,89	34,08	34,28	34,47	34,67	34,86	35,06	35,26	35,46
32	35,66	35,87	36,07	36,27	36,48	36,68	36,89	37,10	37,31	37,52
33	37,73	37,94	38,16	38,37	38,58	38,80	39,02	39,24	39,46	39,68
34	39,90	40,12	40,34	40,57	40,80	41,02	41,25	41,48	41,71	41,94
35	42,18	42,41	42,64	42,88	43,12	43,36	43,60	43,84	44,08	44,32
36	44,56	44,81	45,05	45,30	45,55	45,80	46,05	46,30	46,56	46,81
37	47,07	47,32	47,58	47,84	48,10	48,36	48,63	48,89	49,16	49,42
38	49,69	49,96	50,23	50,51	50,77	51,05	51,32	51,60	51,90	52,16
39	52,44	52,73	53,01	53,29	53,58	53,87	54,16	54,45	54,74	55,03
40	55,32	55,61	55,91	56,21	56,51	56,81	57,11	57,41	57,72	58,03
41	58,34	58,65	58,96	59,27	59,58	59,90	60,22	60,54	60,86	61,18
42	61,50	61,82	62,14	62,47	62,80	63,13	63,46	63,79	64,12	64,46
43	64,80	65,14	65,48	65,82	66,16	66,51	66,86	67,21	67,56	67,91
44	68,26	68,61	68,97	69,33	69,69	70,05	70,41	70,77	71,14	71,51
45	71,88	72,25	72,62	72,99	73,36	73,74	74,12	74,50	74,88	75,26

Окончание таблицы 12

t, °C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0.9
46	75,65	76,04	76,43	76,83	77,21	77,60	78,00	78,40	78,80	79,20
47	79,60	80,00	80,41	80,82	81,23	81,64	82,05	82,46	82,87	83,29
48	83,71	84,13	84,56	84,99	85,42	85,85	86,28	86,71	87,14	87,58
49	88,02	88,46	88,90	89,34	89,79	90,24	90,69	91,14	91,59	92,05
50	92,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-

В таблице в левом столбце указана температура в целых градусах, а в верхней строке – поправки к температуре в десятых долях градуса. Например, для температуры 14,6 °С имеем Е=12,46 мм. рт. ст.

Зная относительную влажность воздуха φ и максимальную упругость водяного пара Е, из формулы (10) можно определить действительную упругость водяного пара:

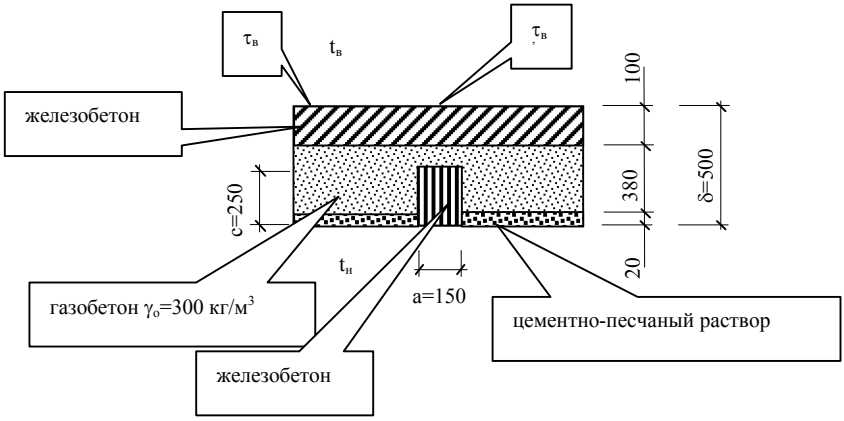
$$e = \frac{\varphi \cdot E}{100}. \qquad (14)$$

Теперь можно установить: при какой температуре значение действительной упругости е станет максимальным Е. Для этого нужно воспользоваться табл. 12 «в обратном порядке», т.е., найти в ней рассчитанное значение е и определить соответствующую ему температуру. Она и будет являться температурой точки росы $t_р$.

1.5. Пример 2. Определение возможности образования конденсата на внутренней поверхности ОК

Задание: для ограждающей конструкции, запроектированной в примере 1, проверить возможность образования конденсата на ее внутренней поверхности для двух случаев:

1) Конструкция не содержит теплопроводных включений.
2) Конструкция имеет железобетонное теплопроводное включение типа IV размерами



а=150 мм, с=250 мм.

Исходные данные для расчета:

температура наружного воздуха $t_н$= -40 °С;

температуры по психрометру Августа:

сухого термометра (температура внутреннего воздуха) $t_в$=20 °С;

влажного термометра $t_{вл}$=18,5 °С.

1. Определяем температуру внутренней поверхности ОК для конструкции без теплопроводных включений. Общее приведенное сопротивление ОК теплопередаче уже определено в примере 1: R_o=3,15 м^2·°С/Вт. Значения коэффициентов n и $\alpha_в$ также совпадают с принятыми в примере 1. По формуле (11) имеем

$$\tau_в = t_в - \frac{n\cdot(t_в - t_н)}{R_o\cdot\alpha_в} = 20 - \frac{1\cdot[20-(-40)]}{3{,}15\cdot 8{,}7} = 17{,}8\ °C\ .$$

2. Определяем температуру внутренней поверхности ОК в районе теплопроводного включения по формуле (12).

2.1. Сопротивление ОК теплопередаче вне теплопроводного включения $R_o^{усл}$ совпадает с общим приведенным сопротивлением ОК теплопередаче R_o:

$$R_o^{усл} = R_o = 3{,}15\ м^2\cdot °C/Вт\ .$$

2.2. Сопротивление ОК теплопередаче в районе теплопроводного включения определяем по формуле (4) как для теплотехнически однородного многослойного (трехслойного) ограждения с учетом (5), (6):

$$R_o^{'} = \frac{1}{\alpha_в} + R_к + \frac{1}{\alpha_к} = \frac{1}{8{,}7} + \frac{0{,}1}{2{,}04} + \frac{0{,}5-0{,}1-0{,}25}{0{,}13} + \frac{0{,}25}{2{,}04} + \frac{1}{23} = 1{,}48\ м^2\cdot$$

2.3. Для определения коэффициента η вычисляем $\frac{c}{\delta} = \frac{0{,}25}{0{,}5} = 0{,}5$ и $\frac{a}{\delta} = \frac{0{,}15}{0{,}5} = 0{,}3$. По табл. 9, интерполируя, определяем η=0,48.

2.4. По формуле (12) определяем температуру внутренней поверхности ОК в районе теплопроводного включения

$$\tau_в^{'} = t_в - \frac{n\cdot(t_в - t_н)}{R_o^{усл}\cdot\alpha_в}\left[1+\eta\cdot\left(\frac{R_o^{усл}}{R_o^{'}}-1\right)\right] =$$

$$20 - \frac{1\cdot[20-(-40)]}{3{,}15\cdot 8{,}7}\cdot\left[1+0{,}48\cdot\left(\frac{3{,}15}{1{,}48}-1\right)\right] = 16{,}6\ °C$$

3. Определяем температуру точки росы

3.1. По данным психрометра ($t_{сух}$=$t_в$=20 °С, $t_{вл}$=18,5 °С, Δt=$t_{сух}$-$t_{вл}$=1,5 °С) определяем относительную влажность воздуха с помощью табл. 11:

φ=85 %.

3.2. По температуре внутреннего воздуха $t_в$=20 °С, пользуясь табл. 12, определяем максимальную упругость водяного пара:

E=17,54 мм. рт. ст.

3.3. По формуле (14) определяем действительную упругость водяного пара:

$$e = \frac{\varphi \cdot E}{100} = \frac{85 \cdot 17{,}54}{100} = 14{,}9 \text{ мм. рт. ст.}$$

3.4. Пользуясь табл. 12 «в обратном порядке», определяем: при какой температуре данное значение действительной упругости станет максимальным. Как следует из таблицы, значению 14,9 мм. рт. ст. соответствует температура 17,4 °С. Она и является температурой точки росы.

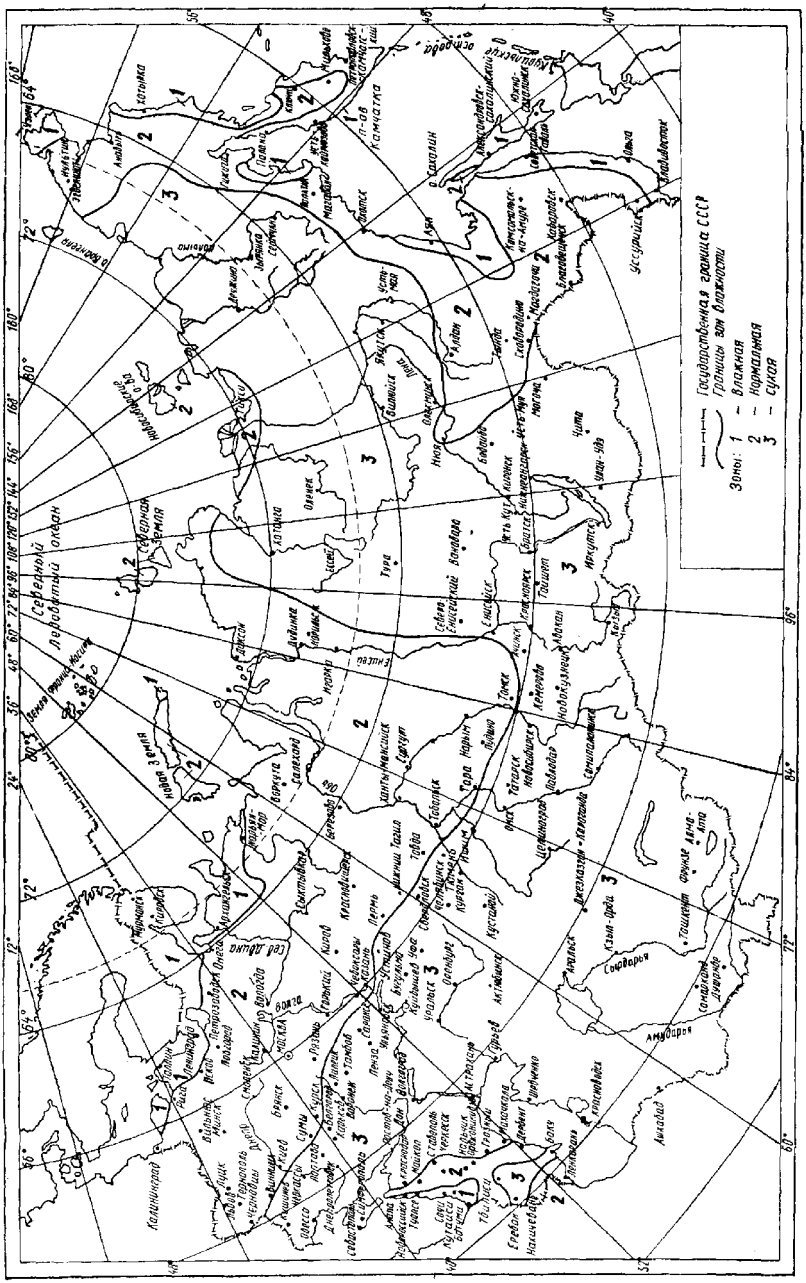
$t_р$=17,4 °С.

4. **Выводы:**

а) Так как температура точки росы ниже температуры внутренней поверхности ОК вне теплопроводного включения ($t_р$=17,4 < $\tau_в$=17,8 °С), в этих местах образования конденсата при данных температурно-влажностных условиях не ожидается.

б) В то же время в районе теплопроводного включения температура внутренней поверхности ОК ниже температуры точки росы ($\tau_в^{'}$=16,6 < $t_р$=17,4 °С). Таким образом, в районе теплопроводного включения на внутренней поверхности ОК возможно образование конденсата.

Приложение 1. Зоны влажности территории бывшего СССР



Приложение 2. Теплотехнические показатели строительных материалов и конструкций

Материал	Плотность в сухом состоянии γ_0, кг/м^3	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации ОК)			
		теплопроводности λ, Вт/м·°С		теплоусвоения (при периоде 24 ч) S, Вт/м·°С	
		А	Б	А	Б
I. Бетоны и растворы					
А. Бетоны на природных плотных заполнителях					
1. Железобетон	2500	1,92	2,04	17,98	16,95
2. Бетон на гравии и щебне из природного камня	2400	1,74	1,86	16,77	17,88
Б. Бетоны на природных пористых заполнителях					
3. Туфобетон	1800	0,87	0,99	11,38	12,79
	1600	0,70	0,81	9,62	10,91
	1400	0,52	0,58	7,76	8,63
	1200	0,41	0,47	6,38	7,20
4. Пемзобетон	1600	0,62	0,68	8,54	9,30
	1400	0,49	0,54	7,10	7,76
	1200	0,40	0,43	5,94	6,41
	1000	0,30	0,34	4,69	5,20
	800	0,22	0,26	3,60	4,07
5. Бетон на вулканическом шлаке	1600	0,64	0,70	9,20	10,14
	1400	0,52	0,58	7,76	8,63
	1200	0,41	0,47	6,38	7,20
	1000	0,29	0,35	4,90	5,67
	800	0,23	0,29	3,90	4,61
В. Бетоны на искусственных пористых заполнителях					
6. Керамзитобетон на керамзитовом песке и керамзитопенобетон	1800	0,80	0,92	10,50	12,33
	1600	0,67	0,79	9,06	10,77
	1400	0,56	0,65	7,75	9,14
	1200	0,44	0,52	6,36	7,57
	1000	0,33	0,41	5,03	6,13
	800	0,24	0,31	3,83	4,77
	600	0,20	0,26	3,03	3,78
	500	0,17	0,23	2,55	3,25
7. Керамзитобетон на кварцевом песке с поризацией	1200	0,52	0,58	6,77	7,72
	1000	0,41	0,47	5,49	6,35
	800	0,29	0,35	4,13	4,90
8. Керамзитобетон на перлитовом песке	1000	0,35	0,41	5,57	6,43
	800	0,29	0,35	4,54	5,32
9. Шунгизитобетон	1400	0,56	0,64	7,59	8,60
	1200	0,44	0,50	6,23	7,04
	1000	0,33	0,38	4,92	5,60
10. Перлитобетон	1200	0,44	0,50	6,96	8,01
	1000	0,33	0,38	5,50	6,38
	800	0,27	0,33	4,45	5,32
	600	0,19	0,23	3,24	3,84
11. Шлакопемзобетон (термозитобетон)	1800	0,63	0,76	9,32	10,83
	1600	0,52	0,63	7,98	9,29
	1400	0,44	0,52	6,87	7,90
	1200	0,37	0,44	5,83	6,73
	1000	0,31	0,37	4,87	5,63
12. Шлакопемзопено- и шлакопемзогазобетон	1600	0,63	0,70	9,29	10,31
	1400	0,52	0,58	7,90	8,78
	1200	0,41	0,47	6,49	7,31
	1000	0,35	0,41	5,48	6,24
	800	0,29	0,35	4,46	5,15

Материал	Плотность в сухом состоянии γ_0, кг/м^3	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации ОК)			
		теплопроводности λ, Вт/м·°С		теплоусвоения (при периоде 24 ч) S, Вт/м·°С	
		А	Б	А	Б
13. Бетон на доменных гранулированных шлаках	1800	0,70	0,81	9,82	11,18
	1600	0,58	0,64	8,43	9,37
	1400	0,52	0,58	7,46	8,34
	1200	0,47	0,52	6,57	7,31
14. Аглопоритобетон и бетоны на топливных (котельных) шлаках	1800	0,85	0,93	10,82	11,98
	1600	0,72	0,78	9,39	10,34
	1400	0,59	0,65	7,92	8,83
	1200	0,48	0,54	6,64	7,45
	1000	0,38	0,44	5,39	6,14
15. Бетон на зольном гравии	1400	0,52	0,58	7,46	8,34
	1200	0,41	0,47	6,14	6,95
	1000	0,30	0,35	4,79	5,48
16. Вермикулитобетон	800	0,23	0,26	3,97	4,58
	600	0,16	0,17	2,87	3,21
	400	0,11	0,13	1,94	2,29
	300	0,09	0,11	1,52	1,83
Г. Бетоны ячеистые					
17. Газо- и пенобетон, газо- и пеносиликат	1000	0,41	0,47	6,13	7,09
	800	0,33	0,37	4,92	5,63
	600	0,22	0,26	3,36	3,91
	400	0,14	0,15	2,19	2,42
	300	0,11	0,13	1,68	1,95
18. Газо- и пенозолобетон	1200	0,52	0,58	8,17	9,46
	1000	0,44	0,50	6,86	8,01
	800	0,35	0,41	5,48	6,49
Д. Цементные, известковые и гипсовые растворы					
19. Цементно-песчаный	1800	0,76	0,93	9,60	11,09
20. Сложный (песок, известь, цемент)	1700	0,70	0,87	8,95	10,42
21. Известково-песчаный	1600	0,70	0,81	8,69	9,76
22. Цементно-шлаковый	1400	0,52	0,64	7,00	8,11
	1200	0,47	0,58	6,16	7,15
23. Цементно-перлитовый	1000	0,26	0,30	4,64	5,42
	800	0,21	0,26	3,73	4,51
24. Гипсоперлитовый	600	0,19	0,23	3,24	3,84
25. Поризованный гипсоперлитовый	500	0,15	0,19	2,44	2,95
	400	0,13	0,15	2,03	2,35
26. Плиты из гипса	1200	0,41	0,47	6,01	6,70
	1000	0,29	0,35	4,62	5,28
27. Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка)	800	0,19	0,21	3,34	3,66
II. Кирпичная кладка и облицовка природным камнем					
А. Кирпичная кладка из сплошного кирпича					
28. Глиняного обыкновенного (ГОСТ 530-80) на цементно-песчаном растворе	1800	0,70	0,81	9,20	10,12
29. Глиняного обыкновенного на цементно-шлаковом растворе	1700	0,64	0,76	8,64	9,70
30. Глиняного обыкновенного на цементно-перлитовом растворе	1600	0,58	0,70	8,08	9,23
31. Силикатного (ГОСТ 379-79) на цементно-песчаном растворе	1800	0,76	0,87	9,77	10,90
32. Трепельного (ГОСТ 648-73) на цементно-песчаном растворе	1200	0,47	0,52	6,26	6,49
	1000	0,41	0,47	5,35	5,96
33. Шлакового на цементно-песчаном растворе	1500	0,64	0,70	8,12	8,76
Б. Кирпичная кладка из кирпича керамического и силикатного пустотного					
34. Керамического пустотного плотностью 1400 кг/м^3 (брутто) на цементно-песчаном растворе	1600	0,58	0,64	7,91	8,48
35. Керамического пустотного плотностью 1300 кг/м^3 (брутто) на цементно-песчаном растворе	1400	0,52	0,58	7,01	7,56

Материал	Плотность в сухом состоянии γ_0, кг/м^3	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации ОК)			
		теплопроводности λ, Вт/м·°С		теплоусвоения (при периоде 24 ч) S, Вт/м·°С	
		А	Б	А	Б
36. Керамического пустотного плотностью 1000 кг/м^3 (брутто) на цементно-песчаном растворе	1200	0,47	0,52	6,16	6,62
37. Силикатного одиннадцатипустотного на цементно-песчаном растворе	1500	0,70	0,81	8,59	9,63
38. Силикатного четырнадцатипустотного на цементно-песчаном растворе	1400	0,64	0,76	7,93	9,01
В. Облицовка природным камнем					
39. Гранит, гнейс и базальт	2800	3,49	3,49	25,04	25,04
40. Мрамор	2800	2,91	2,91	22,86	22,86
41. Известняк	2000	1,16	1,28	12,77	13,70
	1800	0,93	1,05	10,85	11,77
	1600	0,73	0,81	9,06	9,75
	1400	0,56	0,58	7,42	7,72
42. Туф	2000	0,93	1,05	11,68	12,92
	1800	0,70	0,81	9,61	10,76
	1600	0,52	0,64	7,81	9,02
	1400	0,43	0,52	6,64	7,60
	1200	0,35	0,41	5,55	6,25
	1000	0,24	0,29	4,20	4,80
III. Дерево, изделия из него и других природных органических материалов					
43. Сосна и ель поперек волокон (ГОСТ 8486-66**, ГОСТ 9463-72*)	500	0,14	0,18	3,87	4,54
44. Сосна и ель вдоль волокон	500	0,29	0,35	5,56	6,33
45. Дуб поперек волокон (ГОСТ 9462-71*, ГОСТ 2695-83)	700	0,18	0,23	5,00	5,86
46. Дуб вдоль волокон	700	0,35	0,41	6,90	7,83
47. Фанера клеенная (ГОСТ 3916-69)	600	0,15	0,18	4,22	4,73
48. Картон облицовочный	1000	0,21	0,23	6,20	6,75
49. Картон строительный многослойный (ГОСТ 4408-75*)	650	0,15	0,18	4,26	4,89
50. Плиты древесноволокнистые и древесностружечные (ГОСТ 4598-74*, ГОСТ 10632-77*)	1000	0,23	0,29	6,75	7,70
	800	0,19	0,23	5,49	6,13
	600	0,13	0,16	3,93	4,43
	400	0,11	0,13	2,95	3,26
	200	0,07	0,08	1,67	1,81
51. Плиты фибролитовые (ГОСТ 8928-81) и арболит (ГОСТ 19222-84) на портландцементе	800	0,24	0,30	6,17	7,16
	600	0,18	0,23	4,63	5,43
	400	0,13	0,16	3,21	3,70
	300	0,11	0,14	2,56	2,99
52. Плиты камышитовые	300	0,09	0,14	2,31	2,99
	200	0,07	0,09	1,67	1,96
53. Плиты торфяные теплоизоляционные (ГОСТ 4861-74)	300	0,07	0,08	2,12	2,34
	200	0,06	0,064	1,60	1,71
54. Пакля	150	0,06	0,07	1,30	1,47
IV. Теплоизоляционные материалы					
А. Минераловатные и стекловолокнистые					
55. Маты минераловатные прошивные (ГОСТ 21880-76) и на синтетическом связующем (ГОСТ 9573-82)	125	0,064	0,07	0,73	0,82
	75	0,06	0,064	0,55	0,61
	50	0,052	0,06	0,42	0,48
56. Плиты мягкие, полужесткие и жесткие минераловатные на синтетическом и битумном связующих (ГОСТ 9573-82, ГОСТ 10140-80, ГОСТ 12394-66)	350	0,09	0,11	1,46	1,72
	300	0,087	0,09	1,32	1,44
	200	0,076	0,08	1,01	1,11
	100	0,06	0,07	0,64	0,73
	50	0,052	0,06	0,42	0,48
57. Плиты минераловатные повышенной жесткости на органофосфатном связующем (ТУ 21-РСФСР-3-72-76)	200	0,07	0,076	0,94	1,01
58. Плиты полужесткие минераловатные на крахмальном связующем (ТУ 400-1-61-74 Мосгорисполкома)	200	0,076	0,08	1,01	1,11
	125	0,06	0,064	0,70	0,78

Материал	Плотность в сухом состоянии γ_0, кг/м^3	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации ОК)			
		теплопроводности λ, Вт/м·°С		теплоусвоения (при периоде 24 ч) S, Вт/м·°С	
		А	Б	А	Б
59. Плиты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем (ГОСТ 10499078)	50	0,06	0,064	0,44	0,50
60. Маты и полосы из стеклянного волокна прошивные (ТУ 21-23-72-75)	150	0,064	0,07	0,80	0,90
Б. Полимерные					
61. Пенополистирол (ТУ 6-05-11-78-78)	150	0,052	0,06	0,89	0,99
	100	0,041	0,052	0,65	0,82
62. Пенополистирол (ГОСТ 15588-70*)	40	0,041	0,05	0,41	0,49
63. Пенопласт ПХВ-1 (ТУ 6-05-1179-75) и ПВ-1 (ТУ 6-05-1158-78)	125	0,06	0,064	0,86	0,99
	≤100	0,05	0,052	0,68	0,80
64. Пенополиуретан (ТУ В-56-70, ТУ 67-98-75, ТУ 67-87-75)	80	0,05	0,05	0,67	0,70
	60	0,041	0,041	0,53	0,55
	40	0,04	0,04	0,40	0,42
65. Плиты из резольно-фенолформальдегидного пенопласта (ГОСТ 20916-75)	100	0,052	0,076	0,85	1,18
	75	0,05	0,07	0,72	0,98
	50	0,05	0,064	0,59	0,77
	40	0,041	0,06	0,48	0,66
66. Перлитопластобетон (ТУ 480-1-145-74)	200	0,052	0,06	0,93	1,01
	100	0,041	0,05	0,58	0,66
67. Перлитофосфолелевые изделия (ГОСТ 21500-76)	300	0,08	0,12	1,43	2,02
	200	0,07	0,09	1,10	1,43
В. Засыпки					
68.Гравий керамзитовый (ГОСТ 9759-83)	800	0,21	0,23	3,36	3,60
	600	0,17	0,20	2,62	2,91
	400	0,13	0,14	1,87	1,99
	300	0,12	0,13	1,56	1,66
	200	0,11	0,12	1,22	1,30
69. Гравий шунгизитовый (ГОСТ 19345-83)	800	0,20	0,23	3,28	3,68
	600	0,16	0,20	2,54	2,97
	400	0,13	0,14	1,87	2,03
70. Щебень из доменного шлака (ГОСТ 5578-76), шлаковой пемзы (ГОСТ 9780-75) и аглопорита (ГОСТ 11991-83)	800	0,21	0,26	3,36	3,83
	600	0,18	0,21	2,70	2,98
	400	0,14	0,16	1,94	2,12
71. Щебень и песок из перлита вспученного (ГОСТ 10832-83)	600	0,111	0,12	2,07	2,20
	400	0,087	0,09	1,50	1,56
	200	0,076	0,08	0,99	1,04
72. Вермикулит вспученный (ГОСТ 12865-67)	200	0,09	0,11	1,08	1,24
	100	0,076	0,08	0,70	0,75
73. Песок для строительных работ (ГОСТ 8736-77*)	1600	0,47	0,58	6,95	7,91
Г. Пеностекло или газостекло					
74. Пеностекло или газостекло (ТУ 21-БССР-86-73)	400	0,12	0,14	1,76	1,94
	300	0,11	0,12	1,46	1,56
	200	0,08	0,09	1,01	1,10
V. Материалы кровельные, гидроизоляционные, облицовочные и рулонные покрытия для полов					
А. Асбестоцементные					
75. Листы асбестоцементные плоские (ГОСТ 18124-75*)	1800	0,47	0,52	7,55	8,12
	1600	0,35	0,41	6,14	6,80
Б. Битумные					
76. Битумы нефтяные строительные и кровельные (ГОСТ 6617-76*, ГОСТ 9548-74*)	1400	0,27	0,27	6,80	6,80
	1200	0,22	0,22	5,69	5,69
	1000	0,17	0,17	4,56	4,56
77. Асфальтобетон (ГОСТ 9128-84)	2100	1,05	1,05	16,43	16,43
78. Изделия из вспученного перлита на битумном связующем (ГОСТ 16136-80)	400	0,12	0,13	2,45	2,59
	300	0,09	0,099	1,84	1,95

Материал	Плотность в сухом состоянии γ_0, кг/м^3	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации ОК)			
		теплопроводности λ, Вт/м·°С		теплоусвоения (при периоде 24 ч) S, Вт/м·°С	
		А	Б	А	Б
79. Рубероид (ГОСТ 10923-82), пергамин (ГОСТ 2697-83), толь (ГОСТ 10999-76*)	600	0,17	0,17	3,53	3,53
В. Линолеумы					
80. Линолеум поливинилхлоридный многослойный (ГОСТ 14632-79)	1800	0,38	0,38	8,56	8,56
	1600	0,33	0,33	7,52	7,52
81. Линолеум поливинилхлоридный на тканевой подоснове (ГОСТ 7251-77)	1800	0,35	0,35	8,22	8,22
	1600	0,29	0,29	7,05	7,05
	1400	0,23	0,23	5,87	5,87
VI. Металлы и стекло					
82. Сталь стержневая арматурная (ГОСТ 10884-81)	7850	58	58	126,5	126,5
83. Чугун	7200	50	50	112,5	112,5
84. Алюминий (ГОСТ 22233-83)	2600	221	221	187,6	187,6
85. Медь (ГОСТ 859-78*)	8500	407	407	326	326
86. Стекло оконное (ГОСТ 111-78)	2500	0,76	0,76	10,79	10,79

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП II-3-79**. Строительная теплотехника / Госстрой СССР. – ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 32 с.
2. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 136 с.
3. Лабораторный практикум по строительной физике / В.А. Объедков, А.К. Соловьев, А.Н. Кондратенко и др. – М.: Высш. шк., 1979. – 221 с.
4. Архитектура гражданских и промышленных зданий. Том II. Основы проектирования / Л.Б. Великовский, Н.Ф. Гуляницкий, В.М. Ильинская и др.; Под ред. В.М. Предтеченского. – М.: Стройиздат, 1976. – 215 с.