

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Пермский государственный аграрно-технологический
университет имени академика Д.Н. Прянишникова»

А.Н. Шихов

**АКТУАЛИЗИРОВАННАЯ РЕДАКЦИЯ
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ**

Учебно-методическое пособие

Пермь
ИПЦ «Прокростъ»
2018

УДК 666.21
ББК 38.113
Ш 653

Рецензенты:

В.Н. Зекин, профессор кафедры строительного производства и материаловедения (ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ).

Л.М. Яковлева, главный архитектор ООО «МБА-проект», член Союза архитекторов РФ, Почетный архитектор России

Ш653 Шихов, А.Н.

Актуализированная редакция теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий : учебно-методическое пособие / А.Н. Шихов; М-во с.-х. РФ, федеральное гос. бюджетное образов. учреждение высшего образов. «Пермский гос. аграрно-технологич. ун-т им. акад. Д.Н. Прянишникова». – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2018. – 75 с.

ISBN 978-5-94279-384-5

В учебно-методическом пособии представлены современные методики теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий, которые отражают повышение нормативных требований к тепловой защите зданий на уровне европейских и международных документов. Приведены примеры теплотехнического расчета различных видов стенового ограждения зданий и необходимые справочные и табличные материалы для самостоятельной работы студентов при выполнении практических и лабораторных работ по дисциплине «Физика среды и ограждающих конструкций».

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство» очной и заочной форм обучения.

УДК 666.21
ББК 38.113

Утверждено в качестве учебно-методического пособия на заседании методической комиссии архитектурно-строительного факультета ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ (протокол № 6 от 2 февраля 2017 г.).

ISBN 978-5-94279-384-5

© ИПЦ «Прокрость», 2018
© Шихов А.Н., 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. Общие положения.....	7
2. Теоретические основы теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий.....	8
3. Определение нормируемого значения приведенного сопро- тивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий ...	10
4. Типовая разбивка основных видов стен на теплозащитные элементы	14
5. Расчет приведенного термического сопротивления теплопередаче теплозащитной оболочки здания.....	18
6. Определение удельных потерь теплоты через неоднородности ограждающей конструкции здания.....	21
7. Алгоритм расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий.....	25
8. Варианты расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий	27
9. Определение санитарно-гигиенических требований для ограждающих конструкций зданий	30
10. Примеры теплотехнических расчетов ограждающих конструкций зданий.....	31
10.1. Определение приведенного сопротивления теплопе- редаче и коэффициента теплотехнической однородности сте- ны, выполненной по системе	31
10.2. Определение толщины ячеистых блоков стены жилого здания из условия достижения целевого сопротивления теплопередаче.....	36
10.3. Определение приведенного сопротивления теплопередаче фасада жилого здания с использованием расчетов температурных полей.....	42
10.4. Определение толщины утеплителя в трехслойной стене жилого здания.....	49
10.5. Определение возможности применения «сэндвич- панели» толщиной 200 мм в качестве стенового ограждения производственного здания	56
11. Влияние перфорации плит перекрытия на снижение тепловых потерь для узлов, входящих в ограждающую конструкцию.....	61
Заключение.....	63
Контрольные вопросы.....	64
Библиографический список.....	65

<i>Приложение 1. Схематическая карта зон влажности.....</i>	66
<i>Приложение 2. Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции.....</i>	67
<i>Приложение 3. Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции.....</i>	67
<i>Приложение 4. Условия эксплуатации ограждающих конструкций</i>	68
<i>Приложение 5. Нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции</i>	68
<i>Приложение 6. Определение расчетных значений удельных потерь теплоты для узла примыкания плит перекрытия к стене</i>	69
<i>Приложение 7. Определение расчетных значений удельных потерь теплоты через узлы примыкания балконных плит к стене</i>	70
<i>Приложение 8. Определение расчетных значений удельных потерь теплоты через узлы примыкания оконных блоков к стене</i>	72
<i>Приложение 9. Определение расчетных значений удельных потерь теплоты для стальных тарельчатых анкеров ограждающих конструкций зданий.....</i>	75

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебно-методическое пособие составлено с целью повышения уровня проектирования тепловой защиты зданий в соответствии с требованиями свода правил СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» при выполнении курсовых проектов и выпускных квалификационных работ.

Учебно-методическое пособие соответствует требованиям к обязательному минимуму содержания и уровню подготовки бакалавров, установленными федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования направления подготовки 08.03.01 Строительство и содержанию дисциплины «Физика среды и ограждающих конструкций».

Актуальность учебно-методического пособия заключается в том, что оно содержит современные требования и методики теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий, которые отсутствуют в учебной литературе по дисциплине «Физика среды и ограждающих конструкций».

Учебно-методическое пособие направлено на формирование следующих компетенций, предусмотренных ФГОС ВО по направлению подготовки 08.03.01 Строительство:

- способности выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);

- способности применять нормативную базу в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест (ПК-1);

- способности применять методы проведения инженерных изысканий, технологией проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированных проектирования (ПК-2);

- способности проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы, контролировать соответствие разрабатываемых проектов и технической документации заданию, стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам (ПК-3).

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- требования нормативных документов к микроклимату помещений, к ограждающим и внутренним конструкциям зданий;

- методы расчета конструкций, позволяющие создать необходимый микроклимат помещения;

Уметь:

- рассчитывать ограждающие конструкции в соответствии с повышенными нормативными требованиями по тепловой защите зданий;

- использовать при расчетах современную нормативную литературу по тепловой защите зданий.

Владеть навыками:

- работы с нормативами, стандартами, техническими условиями, регламентами, ГОСТами, СНиПами, СанПиНами, природоохранной документацией;

- работы с персональным компьютером.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В учебно-методическом пособии приведены примеры теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий, таблицы с расчетными характеристиками различных узлов конструкций и варианты конструктивных решений узлов многослойных конструкций стен, получивших широкое применение в практике строительства. Приведены методики определения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и их фрагментов, коэффициента теплотехнической однородности, удельных потерь теплоты через плоскостные, линейные и точечные теплозащитные элементы и минимальной температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций здания.

Условия эксплуатации ограждающих конструкций для выбора теплотехнических показателей материалов принимаются по приложению 4.

Внутренние и наружные температуры принимаются либо по проектному заданию, либо по ГОСТ 30494 (внутренняя температура) или по СП 131.13330.2011 «Строительная климатология» (наружная температура).

Требования к приведенному сопротивлению теплопередачи и минимальной температуре внутренней поверхности ограждающих конструкций здания принимаются по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

Проектирование зданий и сооружений должно осуществляться с учетом требований к ограждающим конструкциям в целях обеспечения:

- заданных параметров микроклимата, необходимых для жизнедеятельности людей и работы технологического или бытового оборудования;
- тепловой защиты помещений в зимний период и чрезмерного перегрева – в летний период эксплуатации;
- защиты от переувлажнения ограждающих конструкций;
- эффективности расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию;
- необходимой надежности и долговечности конструкций.

Все эти требования выполняются путем выбора соответствующих ограждающих конструкций на основании теплотехнического расчета. Однако, согласно СП-23-101-2003 «Проектирование тепловой защиты зданий», при теплотехническом расчете стеновых ограждающих конструкций не учитывались потери тепла через стыки с оконными блоками, стыки с плитами перекрытий и балконными плитами, примыкание к фундаменту и к покрытию, а также стыки с другими видами стеновых конструкций.

Эти показатели учитываются в новой редакции свода правил СП 50.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий», которая разработана с целью приведения нормативных требований, изложенных в СНиП 23-02-2003, с европейскими и международ-

ными нормативными документами, а также применения единых методов определения эксплуатационных характеристик и методов оценки тепловой защиты зданий.

Согласно СП 50.13330.2012 ограждающие конструкции, образующие замкнутый контур, ограничивающий отапливаемый объем здания, представляют собой теплозащитную оболочку, которая должна отвечать следующим требованиям:

а) приведенные сопротивления теплопередаче отдельных ограждающих конструкций (R_0^{np}) должны быть не меньше нормируемых значений ($R_0^{норм}$), т.е.:

$$R_0^{np} \geq R_0^{норм} \quad (1)$$

б) удельная теплозащитная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания ($q_{от}^p$), Вт/(м³ °С), должна быть не больше нормируемого значения, (комплексное требование):

$$q_{от}^p \leq q_{от}^{тр}, \quad (2)$$

где $q_{от}^{тр}$ – нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, Вт/(м³·°С), определяемая для различных типов жилых и общественных зданий по табл.13 или 14 СП 50.13330.2012;

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

$$\tau_{в} \geq t_p, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3)$$

где $\tau_{в}$ – температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций, °С;

t_p – температура точки росы, °С.

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

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМИРУЕМОГО ЗНАЧЕНИЯ ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, $R_o^{норм}$, ($м^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$), следует определять по формуле (4):

$$R_o^{норм} = R_o^{тр} \cdot m_p, \quad (4)$$

где m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства, который в расчете по формуле (4) принимается равным 1. Допускается снижение значения коэффициента (m_p) в случае, если при выполнении расчета удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания выполняются требования пункта (в). Значения коэффициента (m_p) при этом должны быть не менее:

- $m_p = 0,63$ - для стен;
- $m_p = 0,95$ - для светопрозрачных конструкций;
- $m_p = 0,8$ - для остальных ограждающих конструкций.

$R_o^{тр}$ – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, ($м^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$), которое следует принимать по таблице 1 в зависимости от градусо-суток отопительного периода, ($\text{°C} \cdot \text{сут} / \text{год}$) региона строительства.

Таблица 1

Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Здания и помещения, коэффициенты а и в	Градусо-сутки отопительного периода ГСОП, $\text{°C} \cdot \text{сут} / \text{год}$	Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче $R_o^{тр}$, $м^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, ограждающих конструкций				
		Стен	Покрытый и перекрытый над проездами	Перекрытый чердачных, над неотапливаемыми подпольями и подвалами	Окон и балконных дверей, витрин и витражей	Фонарей
1	2	3	4	5	6	7
	2000	2,1	3,2	2,8	0,3	0,3
	4000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
1. Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты, гостиницы и общежития	6000	3,5	5,2	4,6	0,6	0,4
	8000	4,2	6,2	5,5	0,7	0,45
	10000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,5
	12000	5,6	8,2	7,3	0,8	0,55
a	-	0,00035	0,0005	0,00045	-	0,000025
b	-	1,4	2,2	1,9	-	0,25
2. Общественные, кроме указанных выше, административные и бытовые, производственные и другие здания и помещения с влажным или мокрым режимами	2000	1,8	2,4	2,0	0,3	0,3
	4000	2,4	3,2	2,7	0,4	0,35
	6000	3,0	4,0	3,4	0,5	0,4
	8000	3,6	4,8	4,1	0,6	0,45
	10000	4,2	5,6	4,8	0,7	0,5
	12000	4,8	6,4	5,5	0,8	0,55
a	-	0,0003	0,0004	0,00035	0,00005	0,000025
b	-	1,2	1,6	1,3	0,2	0,25
3. Производственные с сухим и нормальным режимами*	2000	1,4	2,0	1,4	0,25	0,2
	4000	1,8	2,5	1,8	0,3	0,25
	6000	2,2	3,0	2,2	0,35	0,3
	8000	2,6	3,5	2,6	0,4	0,35
	10000	3,0	4,0	3,0	0,45	0,4
	12000	3,4	4,5	3,4	0,5	0,45
a	-	0,0002	0,00025	0,0002	0,000025	0,000025
b	-	1,0	1,5	1,0	0,2	0,15

Градусо-сутки отопительного периода ГСОП) определяют по формуле (5):

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}, \quad (5)$$

где $t_{\text{от}}$, $z_{\text{от}}$ – соответственно средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по СП 131.13330.2011, табл. 3.1 «Строительная климатология» для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 8°С для жилых зданий, а при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых – не более 10°С;

$t_{в}$ – температура внутреннего воздуха помещения проектируемого здания, °С.

Значения ($R_0^{тп}$) для величин ГСОП, отличающихся от табличных, следует определять по формуле (6)

$$R_0^{тп} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (6)$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода для конкретного пункта;

a , b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 1 для соответствующих ограждающих конструкций и групп зданий, за исключением окон и балконных дверей, витрин и витражей, для которых:

- для интервала до 6000, °Ссут/год: $a = 0,000075$; $b = 0,15$;
- для интервала 6000-8000, °Ссут/год: $a = 0,00005$; $b = 0,3$;
- для интервала 8000 °Ссут/год и более: $a = 0,000025$; $b = 0,5$.

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ($R_0^{\text{норм.}}$), $\text{м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}$, глухой части балконных дверей должно быть не менее чем в 1,5 раза выше нормируемого значения приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачной части этих конструкций.

Для помещений зданий с влажным или мокрым режимом, а также для производственных зданий со значительными избытками теплоты и расчетной относительной влажностью внутреннего воздуха не более 50% нормируемое значение сопротивления теплопередаче определяется по формуле (7):

$$R_0^{\text{норм}} = \frac{(t_{в} - t_{н})}{\Delta t^{\text{н}} \cdot \alpha_{в}}, \quad (7)$$

где $\alpha_{в}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°С})$, принимаемый по приложению (2).

Δt^H – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха ($t_{в}$) и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции – ($t_{с}$), °С, принимаемый по приложению (5).

$t_{в}$ – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая при расчете ограждающих конструкций групп зданий, указанных в табл.1:

- по поз. 1 – по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по ГОСТ 30494 (в интервале 20 - 22 °С);

- по поз. 2 – согласно классификации помещений и минимальных значений оптимальной температуры по ГОСТ 30494 (в интервале 16 - 21 °С);

- по поз. 3 – по нормам проектирования соответствующих зданий.

$t_{н}$ – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °С, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 по СП 131.13330.2011 «Строительная климатология».

В случаях реконструкции зданий, для которых по архитектурным или историческим причинам невозможно утепление стен снаружи, нормируемое значение сопротивления теплопередаче стен допускается определять по формуле (7).

4. ТИПОВАЯ РАЗБИВКА ОСНОВНЫХ ВИДОВ СТЕН НА ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Расчет приведенного сопротивления теплопередачи основан на представлении фрагмента теплозащитной оболочки здания в виде набора независимых элементов, каждый из которых влияет на тепловые потери через фрагмент (далее теплозащитных элементов). В качестве теплозащитных элементов выбирают отдельные участки конструкции, детали прорезающие утеплитель, стыки между различными конструкциями. Необходимо выделять те элементы, которые влияют на тепловые потери через конструкцию. Наиболее распространенными элементами являются примыкания оконных блоков. В то же время, удельные потери теплоты стыков плит перекрытий и балконных плит характеризуются более высокими показателями.

Примыкания к фундаменту и покрытию существенны только для малоэтажного строительства.

При разбивке на элементы необходимо учитывать следующие правила:

- совокупность выделенных элементов должна быть достаточна, т. е. содержать все узлы конструкции;
- элементы не должны пересекаться друг с другом.

При разбивке ограждающих конструкций выделяют следующие виды элементов:

- плоский элемент;
- линейный элемент;
- точечный элемент.

К плоским элементам относятся фрагменты стен с наружной облицовкой кирпичом или утепленных слоев.

К линейным элементам относятся:

- стыки плит перекрытий и балконных плит;

- стыки с оконными блоками;
- примыкание к фундаменту;
- примыкание к покрытию;
- стык с другими видами стеновых конструкций.

К точечным элементам относятся элементы крепежа утеплителя (анкеры, гибкие связи, кронштейны и т.п.) к стеновому ограждению.

В строительной практике к наиболее распространенным относятся следующие виды стеновых конструкций:

- железобетонные трехслойные панели;
- кладки из блоков легкого, особо легкого бетона, или крупноформатных камней;
- трехслойные стены с эффективным утеплителем и облицовкой из кирпичной кладки;
- системы фасадные теплоизоляционные, композиционные с наружными штукатурными слоями (далее СФТК в соответствии с ГОСТ Р 53786-2010);
- системы наружной теплоизоляции с вентилируемой воздушной прослойкой;
- тонкостенные панели (в том числе «сэндвич-панели»);
- витражное и модульное остекление.

Для каждого из перечисленных видов стеновых конструкций имеется типовой набор элементов.

1. Железобетонные трехслойные панели

- 1) гибкие связи или шпонки;
- 2) стыки панелей;
- 3) стыки с плитами перекрытий или балконными плитами;
- 4) стыки с оконными блоками;
- 5) примыкание к фундаменту;
- 6) примыкание к покрытию;
- 7) стык с другими видами стеновых конструкций.

2. Кладки из блоков легкого, особо легкого бетона, или крупноформатных камней

- 1) швы кладки, включая армирование;
- 2) стыки с плитами перекрытий или балконными плитами;
- 3) стыки с оконными блоками;
- 4) примыкание к фундаменту;
- 5) примыкание к покрытию;
- 6) стык с другими видами стеновых конструкций.

3. Трехслойные стены с эффективным утеплителем и облицовкой из кирпичной кладки

- 1) армирование или связи, проходящее через утеплитель;
- 2) крепеж утеплителя;
- 3) стыки с плитами перекрытий или балконными плитами;
- 4) стыки с оконными блоками;
- 5) примыкание к фундаменту;
- 6) примыкание к покрытию;
- 7) стык с другими видами стеновых конструкций.

4. Системы фасадные теплоизоляционные, композитные с наружным утепленными слоями (СФТК)

- 1) крепежу утеплителя (анкер с тарельчатым дюбелем в соответствии с ГОСТ Р 53786-2010);
- 2) стыки с балконными плитами;
- 3) стыки с оконными блоками;
- 4) примыкание к фундаменту;
- 5) примыкание к покрытию;
- 6) стык с другими видами стеновых конструкций.

4.1. Системы наружной теплоизоляции с вентилируемой воздушной прослойкой

- 1) крепеж утеплителя (анкер с тарельчатым дюбелем);
- 2) кронштейны;

- 3) металлические противопожарные рассечки;
- 4) стыки с балконными плитами;
- 5) стыки с оконными блоками;
- 6) примыкание к фундаменту;
- 7) примыкание к покрытию;
- 8) стык с другими видами стеновых конструкций.

4.2. Тонкостенные панели (в том числе сэндвич-панели)

- 1) армирование или связи, проходящее через утеплитель;
- 2) крепеж утеплителя;
- 3) стыки с плитами перекрытий или балконными плитами;
- 4) стыки с оконными блоками;
- 5) примыкание к фундаменту;
- 6) примыкание к покрытию;
- 7) стык с другими видами стеновых конструкций.

5. РАСЧЕТ
 ПРИВЕДЕННОГО ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
 ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ
 ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ЗДАНИЯ

Приведенное термическое сопротивление теплопередаче определяется по формуле (8):

$$R_o^{пр} = \frac{1}{\frac{1}{R_o^{усл}} + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k}, \quad (8)$$

где $R_o^{усл}$ – осредненное по площади условное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания либо выделенной ограждающей конструкции, $(\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$;

l_j – протяженность линейной неоднородности j -го вида, приходящаяся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, $\text{м}/\text{м}^2$;

Ψ_j – удельные потери теплоты через линейную неоднородность j -ого вида, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$;

n_k – количество точечных неоднородностей k -го вида, приходящихся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, $\text{шт}/\text{м}^2$;

χ_k – удельные потери теплоты через точечную неоднородность k -го вида, $\text{Вт}/\text{°C}$;

a_i – (удельный геометрический показатель) – площадь плоского элемента конструкции i -го вида, приходящаяся на 1 м^2 фрагмента теплозащитной оболочки здания, или выделенной ограждающей конструкции, $\text{м}^2/\text{м}^2$, определяемый по формуле (9):

$$a_i = \frac{A_i}{\sum A_i}, \quad (9)$$

где A_i – площадь i -той части фрагмента, м^2 ;

U_i – коэффициент теплопередачи однородной i -той части фрагмента теплозащитной оболочки здания (удельные потери теплоты через плоский элемент i -го вида), $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$, определяемый по формуле (10):

$$U_i = \frac{1}{R_{o,i}^{\text{усл}}} \quad , \quad (10)$$

где $R_{o,i}^{\text{усл}}$ – условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки здания i -го вида, $(\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$, которое определяется расчетом по формуле (11):

$$R_{o,i}^{\text{усл}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_s R_s + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \quad (11)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$, принимаемый по приложению (2);

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/\text{м}^2\text{°C}$, принимаемый по приложению (3);

R_s – термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента, $(\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$, определяемое для материальных слоев по формуле (12):

$$R_s = \frac{\delta_s}{\lambda_s} \quad (12)$$

где δ_s – толщина слоя, м ;

λ_s – теплопроводность материала слоя ограждения, $\text{Вт}/(\text{м} \text{°C})$, принимаемая по СП 50.13330.2012 (приложение Т).

По полученным данным определяется коэффициент теплотехнической однородности, (r), вспомогательная вели-

чина, характеризующая эффективность утепления конструкции, по формуле (14):

$$r = \frac{R_o^{пр}}{R_o^{усл}} \quad , \quad . \quad (14)$$

Величина $R_o^{усл}$ определяется осреднением по площади значений условных сопротивлений теплопередаче всех частей фрагмента теплозащитной оболочки здания по формуле (15):

$$R_o^{усл} = \frac{\sum A_i}{\sum \frac{A_i}{R_{o,i}^{усл}}} = \frac{1}{\sum a_i U_i} \quad (15)$$

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ТЕПЛОТЫ ЧЕРЕЗ НЕОДНОРОДНОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЯ

Наибольший объем тепловых потерь через ограждающие конструкции приходится на стены, поэтому для энергоэффективного строительства правильный учет тепловых потерь через стены является первейшей задачей.

Расчет удельных потерь теплоты через элементы ограждающей конструкции должен содержать следующие части:

- схему или чертеж, позволяющие понять состав и устройство элемента;
- температурное поле узла содержащего элемент;
- принятые в расчете температурного поля температуры наружного и внутреннего воздуха, а также геометрические размеры узла конструкции, включенного в расчетную область;
- минимальную температуру на внутренней поверхности конструкции и поток теплоты через узел, полученные в результате расчетов;
- удельные потери теплоты через элемент.

Удельные потери теплоты, обусловленные каждым элементом, находятся на основе сравнения потока теплоты через узел, содержащий элемент, и через тот же узел, но без исследуемого элемента.

Как правило, узел без исследуемого элемента – это однородная конструкция (плоский элемент).

Удельные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность (Ψ^j) определяются по результатам расчета двухмерного температурного поля узла конструкций при температуре внутреннего воздуха (t_B) и температуре наружного воздуха (t_H) по формуле (16):

$$\Psi_j = \frac{\Delta Q_j^L}{t_B - t_H} \quad (16)$$

где ΔQ_j^L – дополнительные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность j -го вида, приходящиеся на 1 п.м., Вт/м, определяемые по формуле (17):

$$\Delta Q_j^L = Q_j^L - Q_{j,1} - Q_{j,2} \quad (17)$$

где Q_j^L – потери теплоты через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью j -го вида, приходящиеся на 1 п.м. стыка, являющиеся результатом расчета температурного поля, Вт/м;

$Q_{j,1}$, $Q_{j,2}$ – потери теплоты через участки однородных частей фрагмента, вошедшие в расчетную область при расчете температурного поля области с линейной теплотехнической неоднородностью j -го вида, Вт/м, определяемые по формуле (18):

$$Q_{j,1} = \frac{t_B - t_H}{R_{o,j,1} \cdot 1 \text{ м}} \cdot S_{j,1} \quad Q_{j,2} = \frac{t_B - t_H}{R_{o,j,2} \cdot 1 \text{ м}} \cdot S_{j,2} \quad (18)$$

где $S_{j,1}$, $S_{j,2}$ – площади однородных частей конструкции, вошедшие в расчетную область при расчете температурного поля, м².

При этом величина ($S_{j,1} + S_{j,2}$) равна площади расчетной области при расчете температурного поля.

Удельная геометрическая характеристика линейного теплозащитного элемента (lj), м/м², есть отношение суммарной протяженности j -го элемента в исследуемой конструкции (Lj), м, к общей площади конструкции (A), м².

Удельные потери теплоты через точечную теплотехническую неоднородность (k -го)вида определяются по резуль-

татам расчета трехмерного температурного поля участка конструкции, содержащего точечную теплотехническую неоднородность, по формуле (19):

$$\chi_k = \frac{\Delta Q_k^K}{t_B - t_H} \quad (19)$$

где ΔQ_k^K – дополнительные потери теплоты через точечную теплотехническую неоднородность k -го вида, Вт, определяемые по формуле (20):

$$\Delta Q_k^K = Q_k - \tilde{Q}_k \quad (20)$$

где Q_k – потери теплоты через узел, содержащий точечную теплотехническую неоднородность k -го вида, являющиеся результатом расчета температурного поля, Вт;

\tilde{Q}_k – потери теплоты через тот же узел, не содержащий точечную теплотехническую неоднородность k -го вида, являющиеся результатом расчета температурного поля, Вт.

Удельная геометрическая характеристика точечного теплозащитного элемента (n_k), $1/\text{м}^2$, есть отношение суммарного количества k -элементов в исследуемой конструкции (N_k), м, к общей площади конструкции (A), м^2 .

Результатом расчета температурного поля узла конструкции является распределение температур в сечении узла, в том числе по внутренней и наружной поверхностям.

Поток теплоты через внутреннюю поверхность узла определяется по формуле (21):

$$Q_B = \alpha_B \cdot S_B \cdot (t_B - \tau_B^{\text{cp}}) \quad (21)$$

Поток теплоты через наружную поверхность узла определяется по формуле (22):

$$Q_H = \alpha_H \cdot S_H \cdot (t_H - \tau_H^{\text{cp}}) \quad (22)$$

где, t_B , t_H – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха соответственно, °С;

τ_B^{cp} , τ_H^{cp} – осредненные по площади температуры внутренней и наружной поверхностей узла ограждающей конструкции соответственно, °С;

α_B , α_H – коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей узла конструкции соответственно, Вт/(м²°С);

S_B , S_H – площади внутренней и наружной поверхностей узла ограждающей конструкции, м².

7. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

При расчете приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции необходимо установить:

1. Четкое наименование конструкции и указание места занимаемого ею в оболочке здания.

2. Все теплотехнические элементы, составляющие ограждающую конструкцию.

3. Для каждого из перечисленных элементов представить:

- схему или чертеж, позволяющие понять состав и устройство элемента;

- удельную геометрическую характеристику элемента (s , l или n);

- температурное поле узла содержащего элемент.

4. Принятые в расчете температурного поля температуры наружного и внутреннего воздуха, а также геометрические размеры узла конструкции, включенного в расчетную область.

5. Минимальную температуру на внутренней поверхности конструкции и поток теплоты через узел, полученные в результате расчетов.

6. Удельные потери теплоты через элементы ограждения.

Вместо пунктов 5-7 можно использовать удельные потери теплоты через элементы, приведенные в приложениях 6-9 или в работе [12]. Установленные геометрические и теплозащитные характеристики элементов, а также промежуточные данные расчетов необходимо свести в табл.2 и по формуле (8) приведенное сопротивление теплопередаче ($R_0^{пр}$) фрагмента тепловой оболочки здания.

Таблица 2

Геометрические и теплозащитные характеристики элементов
ограждающей конструкции

Элементы конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоские элементы	$a_1, \text{м}^2/\text{м}^2$ $a_2, \text{м}^2/\text{м}^2$	$U_1, \text{Вт}/(\text{м}^{20}\text{С})$ $U_2, \text{Вт}/(\text{м}^{20}\text{С})$	$U_1 a_1, \text{Вт}/(\text{м}^{20}\text{С})$ $U_2 a_2, \text{Вт}/(\text{м}^{20}\text{С})$	-
Линейные элементы	$l_1, \text{м}/\text{м}^2$ $l_2, \text{м}/\text{м}^2$	$\Psi_1, \text{Вт}/(\text{м}^0\text{С})$ $\Psi_2, \text{Вт}/(\text{м}^0\text{С})$	$\Psi_1 l_1, \text{Вт}/(\text{м}^{20}\text{С})$ $\Psi_2 l_2, \text{Вт}/(\text{м}^{20}\text{С})$	-
Точечные элементы	$n_1, 1/\text{м}^2$ $n_2, 1/\text{м}^2$	$X_1, \text{Вт}/^\circ\text{С})$ $X_2, \text{Вт}/^\circ\text{С})$	$X_1 n_1, \text{Вт}/(\text{м}^{20}\text{С})$ $X_2 n_2, \text{Вт}/(\text{м}^{20}\text{С})$	-
Итого			$1/R_0^{\text{np}} = \text{Вт}/(\text{м}^{20}\text{С})$	100

8.ВАРИАНТЫ РАСЧЕТА ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

При теплотехническом расчете рассматривается два основных случая расчета приведенного сопротивления теплопередаче:

а) расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции;

б) подбор элементов проектируемой конструкции, для достижения целевого сопротивления теплопередаче.

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции проводится в следующей последовательности:

1. Выбирается типовая разбивка ограждающей конструкции на элементы, которая корректируется с учетом особенностей ограждающей конструкции.

2. Для каждого элемента находится удельный геометрический показатель и удельные потери теплоты (либо по расчетам температурных полей, либо по справочным материалам).

3. Рассчитывается приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции.

4. Определяется коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции.

Подбор элементов проектируемой конструкции, для достижения целевого сопротивления теплопередаче, проводится в следующей последовательности:

1. Устанавливается целевое сопротивление теплопередаче (R_y) стены здания, которое должно быть не ниже требуемого (R_o^{TP}).

2. Выбирается ограждающая конструкция стены.

3. Производится типовая разбивка на элементы, которая корректируется с учетом особенностей ограждающей конструкции.

4. Для каждого элемента находится удельный геометрический показатель.

5. Для каждого элемента осуществляется расчет температурного поля по формулам или справочным материалам.

6. Для плоских элементов выбирается толщина утеплителя. Для этого целевое сопротивление теплопередаче стены умножают на 1,5 и подбирают конструкцию стены со значением $R_o^{уч} = 1,5 R_{ц}, (м^2 \cdot \text{C}) / \text{Вт}$.

В случае, если известно, что конструкция стены отличается высокой однородностью, можно значение коэффициента 1,5 заменить на значение 1,3. При низкой однородности конструкции стены можно значение коэффициента 1,5 заменить на 1,8.

7. Для выбранной толщины утеплителя устанавливаются удельные потери теплоты всех элементов конструкции стены.

8. По полученным данным проводится расчет приведенного сопротивления теплопередаче ($R_o^{пр}$) стены по формуле (8).

9. По результатам расчета осуществляется оценка достижения целевого сопротивления теплопередаче и, при необходимости, корректируется конструктивное решение стены, либо в изменении толщины или типа утеплителя, либо в замене наиболее значимых теплозащитных элементов.

Целевое сопротивление может считаться достигнутым, если полученное расчетом приведенное сопротивление теплопередаче не меньше целевого сопротивления теплопередаче и отличается от него не более чем:

- на 10% для $R_0^{усл} < 3,5(\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$;
- на 7% для $3,5 \leq R_0^{усл} < 5(\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$;
- на 5% для $5 \leq R_0^{усл}(\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$.

10. В случае изменения некоторых элементов конструкции стены (особенно толщины утеплителя) оценивается необходимость корректировки теплозащитных характеристик остальных элементов. При необходимости пересчитываются характеристики элементов.

11. Проводится окончательный расчет приведенного сопротивления теплопередаче.

12. По формуле (14) определяется коэффициент тепло-технической однородности ограждающей конструкции.

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

Согласно требований СП50.13330.2012 температура внутренней поверхности ограждающей конструкции (τ_{θ}), определенная по результатам расчета температурных полей всех зон с теплотехнической неоднородностью. В зоне теплопроводных включений, в углах и оконных откосах температура внутренней поверхности (τ_{θ}), должна быть не ниже температуры точки росы (t_p) внутреннего воздуха при расчетной температуре наружного воздуха (t_n).

$$\tau_{\theta} \geq t_p, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (23)$$

Температура внутренней поверхности ограждающей конструкции (τ_{θ}) должна определяться по результатам расчета температурных полей всех зон с теплотехнической неоднородностью или по результатам испытаний в климатической камере аккредитованной лаборатории.

Относительную влажность внутреннего воздуха для определения точки росы следует принимать:

- для помещений жилых зданий, больничных и дошкольных учреждений, домов-интернатов и детских домов – 55%.
- для кухонь – 60%;
- для ванных комнат – 65%;
- для теплых подвалов и подполий с коммуникациями – 75%;
- для теплых чердаков жилых зданий – 55%
- для других помещений общественных зданий – 50%.

10. ПРИМЕРЫ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

10.1. *Определение приведенного сопротивления теплопередаче и коэффициента теплотехнической однородности стены, выполненной по системе СФТК.*

А. Исходные данные

Здание выполнено по каркасной системе из монолитного железобетона. Наружные стены выполнены из пенобетонных блоков толщиной 250 мм. Толщина теплоизоляционного из минеральных волокнистых плит составляет 120 мм. Наружный защитный слой выполнен из паропроницаемой штукатурки толщиной 6 мм. Толщина монолитных плит перекрытия составляет 200 мм. Плиты балконов и лоджий перфорируются в отношении пустоты/бетонные перемычки 1/1. Оконная рама толщиной 70 мм выдвинута в плоскость утеплителя на 100 мм. Теплотехнические характеристики материалов слоев стены приведены в табл. 3.

Таблица 3

Состав стенового ограждения
и нормируемые теплотехнические показатели материалов

Материал слоя	Толщина слоя, мм	λ , Вт/м °С
Внутренняя штукатурка	20	0,93
Кладка из ячеистых блоков	250	0,2
Минераловатные плиты	120	0,004
Наружная штукатурка	6	-

Б. Описание элементов, составляющих стеновую конструкцию

При наружном утеплении торцы плит перекрытий закрываются слоем утеплителя, и не являются «мостиками холода», в связи с этим для данного вида стен следует учитывать только стыки с балконными плитами, так как в этих местах разрывается слой утеплителя. Согласно «Правил расчета

приведенного сопротивления теплопередаче» для СФТК установлены следующие характерные элементы:

- крепеж утеплителя (анкер с тарельчатым дюбелем);
- стыки с балконными плитами;
- стыки с оконными блоками;
- примыкание к фундаменту;
- примыкание к покрытию;
- стык с другими видами стеновых конструкций.

Среди перечисленных элементов в расчет не принимаются следующие элементы:

- анкеры с тарельчатым дюбелем, так как они имеют неметаллический распорный элемент и их удельные потери теплоты значительно меньше погрешности расчетов;
- примыкание к фундаменту, так как оно утеплено, и таким образом, дополнительные тепловые потери не возникают;
- примыкание к покрытию утеплено и ввиду незначительной этажности здания имеет малое значение;
- стык с другими видами стеновых конструкций отсутствует.

Оставшиеся элементы представляют:

- плоский элемент 1, состоящий из наружной стены из блоков ячеистого бетона, утепленной слоем минераловатных плит и закрытой тонким слоем штукатурки;
- линейный элемент 1, представляющий собой стык балконной плиты со стеной;
- линейный элемент 2, представляющий собой примыкание оконного блока к стене.

Таким образом, в рассматриваемом фрагменте ограждающей конструкции один вид плоских и два вида линейных элементов.

В. Определение геометрических характеристик элементов

Фасад здания, включая световые проемы, имеет общую площадь 2740 м². На фасаде здания расположены следующие световые проемы:

- 2400 x 2200 мм (окно с балконной дверью) - 50 шт;
- 2400 x 1800 мм - 50 шт;
- 1200 x 1800 мм - 60 шт;
- 1200 x 1200 мм - 12 шт.

Суммарная площадь световых проемов составляет 611 м²:

- 2,4 x 2,0 x 50 = 240 м²; 2,4 x 1,8 x 50 = 216 м²;
- 1,2 x 1,8 x 60 = 129,6 м²; 1,2 x 1,2 x 12 = 17,4 м².

Площадь поверхности фрагмента ограждающей конструкции для расчета приведенного сопротивления теплопередаче ($R_o^{пр}$) составляет:

$$A = 2740 - 611 = 2129 \text{ м}^2.$$

Суммарная протяженность балконных плит на фасаде равна 275 м. Удельная геометрическая характеристика для балконных плит составляет:

$$l_1 = \frac{275}{2129} = 0,129 \text{ м}^{-1}$$

Общая длина проекции оконных откосов, определяется по экспликации оконных проемов:

$$L_2 = (2,0 \times 2,4 + 2,0 \times 2,2) \times 50 + (2,0 \times 2,4 + 2,0 \times 1,8) \times 60 + (2,0 \times 1,2 + 2,0 \times 1,2) \times 12 = 1298 \text{ м}$$

Длина проекции этих откосов, приходящаяся на 1 м² площади фрагмента, составляет:

$$l_2 = \frac{1298}{2129} = 0,61 \text{ м}^{-1}$$

Г. Определение удельных потерь теплоты элементами фрагмента стены

Для плоского элемента фрагмента стены сначала определяется величина условного термического сопротивления по формуле (11):

$$R_{oi}^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,25}{0,2} + \frac{0,12}{0,04} + \frac{1}{23} = 4,43 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт}$$

Затем устанавливается величина удельных потерь теплоты для плоского элемента (U_1) по формуле (10):

$$U_1 = \frac{1}{R_{oi}^{усл}} = \frac{1}{4,43} = 0,226 \text{ Вт/(м}^2\text{°C)}.$$

Для линейного элемента 1 узла примыкания балконной плиты к стене удельные потери теплоты, Ψ_1 , принимаются по приложению (7), табл. Е.4

В связи с тем, что толщина плиты перекрытия в рассматриваемом примере не соответствует приведенным в табл.Е.4 значениям, поэтому удельные потери теплоты (Ψ_1) находим интерполяцией.

Для рассматриваемого примера теплотехнические характеристики составляют:

- сопротивление теплопередаче слоя утеплителя $R_{ут} = 3,0(\text{м}^2\text{°C)/Вт}$;

- коэффициент теплопроводности ячеистых блоков $\lambda = 0,2\text{Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$.

Соответствующие этим параметрам удельные потери теплоты (Ψ_1) для узла примыкания балконной плиты к стене согласно табл. Е.4 равны:

- для толщины перекрытия 160 мм $\Psi_{160} = 0,346 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$;

- для толщины перекрытия 210 мм $\Psi_{210} = 0,429 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$.

Согласно интерполяции для плиты толщиной 200 мм удельные потери теплоты составляют $\Psi_{200} = 0,412 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$.

Удельные потери теплоты для линейного элемента 2 узла примыкания оконного блока к стене (Ψ_2) определяем по приложению (8), табл. Е.13.

Анализируя табл. Е.13, устанавливаем, что для узла примыкания оконного блока к стене рассматриваемого элемента стены с теплотехническими характеристиками ($R_{\text{ут}} = 3,0 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт}$; $\lambda = 0,2 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$ и $d_{\text{н}}=20 \text{ мм}$) соответствующие этим параметрам удельные потери теплоты составляют $\Psi_2=0,092 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$.

После установления удельных потерь теплоты для всех элементов в рассматриваемом фрагменте ограждающей конструкции осуществляем расчет приведенного сопротивления теплопередаче стены. Данные расчетов, сводим в табл. 4.

Таблица 4

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a = 1 \text{ м}^2/\text{м}^2$	$U_1=0,226 \text{ Вт/(м}^2\text{°C)}$	$U_1 a_1=0,226 \text{ Вт/(м}^2\text{°C)}$	67,5
Линейный элемент 1	$l_1= 0,129 \text{ м/м}^2$	$\Psi_1=0,412 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$	$\Psi_1 l_1=0,053 \text{ Вт/(м}^2\text{°C)}$	15,8
Линейный элемент 2	$l_2=0,61 \text{ м/м}^2$	$\Psi_2=0,092 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$	$\Psi_2 l_2=0,056 \text{ Вт/(м}^2\text{°C)}$	16,7
Итого			$1/0,335 \text{ Вт/(м}^2\text{°C)}$	100

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции рассчитывается по формуле (8):

$$R_o^{\text{пр}} = \frac{1}{0,226+0,053+0,056} = \frac{1}{0,335} = 2,99 \text{ (м}^2\text{°C/Вт)}.$$

Коэффициент теплотехнической однородности (r) определяем по формуле (14):

$$r = \frac{2,99}{0,675} = 0,675$$

10.2. *Определение толщины ячеистых блоков стены жилого здания из условия достижения целевого сопротивления теплопередаче*

А. Исходные данные

Стены жилого дома выполнены из полистиролбетонных блоков с наружной облицовкой пустотелым кирпичом толщиной 120 мм. Оконный блок имеет раму толщиной 80 мм и установлен в оконный проем с зубом 60 мм.

Теплотехнические характеристики материалов слоев стены приведены в табл. 5.

Таблица 5

Состав стенового ограждения и нормируемые теплотехнические показатели материалов

Материал слоя	Толщина слоя, мм	λ , Вт/м °С
Внутренняя штукатурка	20	0,93
Кладка из блоков полистиролбетона	-	0,14
Кладка из облицовочного кирпича	120	0,64

Б. Описание элементов, составляющих стеновую конструкцию

Согласно «Правил расчета приведенного сопротивления теплопередаче» [12] для кладки из блоков установлены следующие характерные элементы:

- швы кладки, включая армирование;
- стыки с плитами перекрытий или балконными плитами;
- стыки с оконными блоками;
- примыкание к фундаменту;
- примыкание к покрытию;
- стык с другими видами стеновых конструкций.

Среди перечисленных элементов в расчет не принимаются следующие элементы:

- швы кладки, так как они учтены в теплопроводности кладки;
- балконные плиты отсутствуют;
- примыкание к фундаменту, так как оно утеплено и таким образом, дополнительные тепловые потери не возникают;
- примыкание к покрытию утеплено и ввиду этажности здания имеет малое значение;
- стык с другими видами стеновых конструкций отсутствует.

Оставшиеся элементы представляют:

- *плоский элемент 1*, состоящий из наружной стены из полистиролбетонных блоков с облицовкой кирпичом;
- *линейный элемент 1*, представляющий собой стык стены с плитой перекрытия толщиной 200 мм и перфорированной в соотношении 3/1;
- *линейный элемент 2*, представляющий собой стык стены с оконным блоком.

Таким образом, в рассматриваемом фрагменте ограждающей конструкции один вид плоских и два вида линейных элементов.

В. Определение геометрических характеристик элементов

Фасад здания, включая световые проемы, имеет общую площадь 2740 м². На фасаде здания расположены следующие световые проемы:

- 2400 x 2200 мм (окно с балконной дверью) - 50 шт;
- 2400 x 1800 мм - 50 шт;
- 1200 x 1800 мм - 60 шт;
- 1200 x 1200 мм - 12 шт.

Суммарная площадь световых проемов составляет 611 м²:

- 2,4 x 2,0 x 50 = 240 м²; 2,4 x 1,8 x 50 = 216 м²;
- 1,2 x 1,8 x 60 = 129,6 м²; 1,2 x 1,2 x 12 = 17,4 м².

Площадь поверхности фрагмента ограждающей конструкции для расчета приведенного сопротивления теплопередаче ($R_o^{пр}$) составляет:

$$A = 2740 - 611 = 2129 \text{ м}^2.$$

Суммарная протяженность торцов плит перекрытий на фасаде составляет 822 м. Удельная геометрическая характеристика равняется:

$$l_1 = \frac{822}{2129} = 0,386 \text{ м}^{-1}$$

По экспликации оконных проемов устанавливаем общую длину проекции оконных откосов:

$$L_2 = (2 \times 2,4 + 2 \times 2,0) \times 80 + (2 \times 1,2 + 2 \times 2,0) \times 80 + \\ + (2 \times 1,2 + 2 \times 1,2) \times 24 = 1331 \text{ м}.$$

Длина проекции этих откосов, приходящаяся на 1 м² площади фрагмента составляет:

$$l_2 = \frac{1331}{2129} = 0,625 \text{ м}^{-1}$$

Для плоского элемента определяем толщину кладки из полистиролбетонных блоков, которая позволит получить условное сопротивление теплопередачи близкое к $1,5R_u$.

Целевое сопротивление теплопередаче стены здания должно быть не ниже требуемого, поэтому сначала определяем величину требуемого сопротивления теплопередаче стены (R_o^{TP}) здания через величину ГСОП по формуле(5):

$$\text{ГСОП} = (t_{в} - t_{от}) \cdot z_{от} = (20 + 5,5) \times 225 = 5737,5 \text{ } ^\circ\text{Ссут/год} .$$

Далее вычисляем значение требуемого сопротивления теплопередаче стены здания по формуле (6):

$$R_o^{TP} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0,00035 \times 5737,5 + 1,4 = 3,408 (\text{м}^2\text{С/Вт}).$$

Принимаем величину целевого сопротивления теплопередаче (R_u), равной $R_o^{TP} = 3,408 (\text{м}^2\text{С/Вт})$ и определяем толщину утеплителя. Учитывая, что стена характеризуется высокой однородностью заменяем коэффициент 1,5 на значение 1,3 и определяем толщину блоков из полистиролбетона.

$$\begin{aligned} \delta_{ут} &= \lambda_{ут} (1,3R_u - (\frac{1}{\alpha_e} + \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_k}{\lambda_k} + \frac{\delta_{ум}}{\lambda_{ум}})) = \\ &= 0,14 (1,3 \times 3,408 - (\frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,12}{0,64} + \frac{0,02}{0,93})) = \\ &= 0,14 (4,43 - 0,366) = 0,568 \text{ м}. \end{aligned}$$

Принимаем толщину блоков равной 500 мм и с учетом принятой толщины блоков определяем условное сопротивление теплопередаче.

$$R_{oi}^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,5}{0,14} + \frac{0,12}{0,64} + \frac{1}{23} = 3,934 (\text{м}^2\text{С/Вт}).$$

Г. Определение удельных потерь теплоты элементами фрагмента стены

Для определения приведенного сопротивления теплопередачи исследуемой стены необходимо определить удельные потери теплоты для всех элементов, входящих в ограждающую конструкцию.

Сначала определяем удельные потери теплоты для плоского элемента стены по формуле (10):

$$U_1 = \frac{1}{R_{\text{ст}}^{\text{ст}}} = \frac{1}{3,934} = 0,254 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

По приложению (6) табл.Е.1 устанавливаем удельные потери теплоты через стык стены с плитой перекрытия, Ψ_1 , Вт/(м °С).

Анализируя табл. Е.1 устанавливаем, что удельные потери теплоты для геометрических размеров рассматриваемого варианта стенового ограждения в таблице отсутствуют, поэтому их определяем интерполяцией.

Сначала по второму и третьему столбцу табл. Е.1 методом интерполяции устанавливаем величины удельных потерь теплоты Ψ_1 , Вт/(м °С), для плит перекрытия толщиной 160 и 210 мм при толщине блоков 500 мм и теплопроводности исследуемой кладки $\lambda = 0,14 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{C})$ и заносим их в четвертый столбец таблицы.

Фрагмент таблицы Е.1

	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,18$	$\lambda = 0,14$
$d_{\text{пл}} = 160$	0,195	0,175	0,185
$d_{\text{пл}} = 210$	0,247	0,221	0,234

Затем, по данным четвертого столбца определяем величину удельных потерь теплоты Ψ_1 , Вт/(м °С), для плиты перекрытия толщиной 200 мм, которая составляет:

$$\Psi_1 = 0,224 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{C}).$$

Удельные потери теплоты, Ψ_2 , Вт/(м °С), для узла примыкания оконной рамы толщиной 80 мм к стене из ячеистых блоков толщиной 500 мм устанавливаем по приложению (8), табл. Е.9 по одному параметру – теплопроводности кладки $\lambda = 0,14 \text{ Вт}/(\text{м } ^\circ\text{C})$ для стены из блоков толщиной 500 мм.

Фрагмент таблицы Е.9

Рама 80 мм		
	$d_3 = 60$ мм	
	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,18$
$d_{кл} = 500$	0,048	0,088

Интерполируя табличные значения для блоков толщиной 500 мм, устанавливаем значение удельных потерь теплоты для узла примыкания оконной рамы толщиной 80 мм к стене из ячеистых блоков толщиной 500 мм:

$$\Psi_2 = 0,048 + 0,088 = 0,068 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C}).$$

После установления удельных потерь теплоты для всех элементов в рассматриваемом фрагменте ограждающей конструкции осуществляем расчет приведенного сопротивления теплопередаче исследуемой стены. Данные расчетов, сводим в табл. 6 и устанавливаем значение приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции.

Таблица 6

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a = 1 \text{ м}^2/\text{м}^2$	$U_1=0,254 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$	$U_1 a_1=0,254 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$	67,5
Линейный элемент 1	$l_1= 0,368 \text{ м}/\text{м}^2$	$\Psi_1=0,224 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$	$\Psi_1 l_1=0,086 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$	15,8
Линейный элемент 2	$l_2=0,625\text{м}/\text{м}^2$	$\Psi_2=0,068 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$	$\Psi_2 l_2=0,0425 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$	16,7
Итого			$1/0,382 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$	100

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции рассчитывается по формуле (8):

$$R_o^{np} = \frac{1}{0,254+0,053+0,056} = \frac{1}{0,382} = 2,61(\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}.$$

Таким образом, целевое сопротивление теплопередачи достигнуто с хорошей точностью и доработка ограждающей конструкции не требуется.

10.3. *Определение приведенного сопротивления теплопередаче фасада жилого здания с использованием расчетов температурных полей*

А. Исходные данные

Стена с теплоизоляционной фасадной системой с тонким штукатурным слоем. Фасадная система монтируется на стену здания, выполненного с каркасом из монолитного железобетона. Наружные стены выполняются из кирпичной кладки из полнотелого кирпича толщиной 250 мм (в один кирпич). Толщина теплоизоляционного слоя фасада из каменной ваты составляет 150 мм. Высота этажа от пола до пола 3300 мм. Толщина железобетонного перекрытия 200 мм. Под перекрытием проходит железобетонный ригель высотой 400 мм.

Теплотехнические характеристики материалов слоев стены приведены в табл. 7.

Таблица 7

Состав стенового ограждения
и нормируемые теплотехнические показатели материалов

Материал слоя	Толщина слоя, мм	λ , Вт/м °С
Внутренняя штукатурка	20	0,93
Кладка из полнотелого кирпича	250	0,81
Стена из монолитного железобетона	250	2,04
Минераловатные плиты	150	0,045
Наружная штукатурка	6	-

Б. Описание элементов, составляющих стеновую конструкцию

В составе стены устанавливаем следующие элементы:

- железобетонный ригель с участком перекрытия, утепленный слоем минераловатной плиты, закрытой тонким слоем штукатурки - плоский элемент 1;

- кирпичная кладка, утепленная слоем минераловатной плиты, закрытой тонким слоем штукатурки - плоский элемент 2;

- оконный откос, образованный железобетонным ригелем, утепленным слоем минераловатной плиты, закрытой тонким слоем штукатурки - линейный элемент 1;

- оконный откос, образованный кирпичной кладкой, утепленной слоем минераловатной плиты, закрытой тонким слоем штукатурки - линейный элемент 2;

- дюбель со стальным сердечником, прикрепляющий слой минераловатной плиты к железобетонному ригелю - точечный элемент 1;

- дюбель со стальным сердечником, прикрепляющий слой минераловатной плиты к кирпичной кладке - точечный элемент 2.

Таким образом, в рассматриваемом фрагменте ограждающей конструкции два вида плоских, два вида линейных и два вида точечных элементов.

В. Определение геометрических характеристик элементов

Весь фасад здания, включая световые проемы, имеет общую площадь 2740 м². Фасад содержит следующие световые проемы:

2400 x 2000 мм - 80 шт.; 1200 x 2000 мм - 80 шт.;
1200 x 1200 мм - 24 шт.

Суммарная площадь световых проемов равна 611 м².

Площадь поверхности фрагмента ограждающей конструкции за вычетом площади световых проемов для расчета приведенного сопротивления теплопередаче ($R_o^{пр}$) составляет:

$$A = 2740 - 611 = 2129 \text{ м}^2;$$

Суммарная протяженность торцов перекрытий, а также ригелей на фасаде составляет 822 м. Таким образом, площадь стены с основанием из монолитного железобетона (т.е. площадь проекции на поверхность фрагмента) равна:

$$A_1 = 822 \cdot (0,2 + 0,4) = 493 \text{ м}^2$$

Доля этой площади от общей площади фрагмента ограждающей конструкции равна:

$$a_1 = \frac{493}{2129} = 0,232$$

Площадь стены с основанием из кирпичной кладки без учета монолитного железобетона составляет:

$$A_2 = 2129 - 493 = 1636 \text{ м}^2$$

Доля этой площади от общей площади фрагмента ограждающей конструкции равна:

$$a_2 = \frac{1636}{2129} = 0,768$$

Общая длина проекции оконного откоса, образованного железобетонным ригелем утепленным слоем минераловатной плиты, определяется по экспликации оконных проемов:

$$L_1 = 2,4 \cdot 80 + 1,2 \cdot 80 + 1,2 \cdot 24 = 317 \text{ м}$$

Длина проекции этих откосов, приходящаяся на 1 м^2 площади фрагмента равна:

$$l_1 = \frac{317}{2129} = 0,149 \text{ м}^{-1}$$

Общая длина проекции оконного откоса, образованного кирпичной кладкой, утепленной слоем минераловатной плиты, определяется по экспликации оконных проемов:

$$L_2 = (2,4 + 2 \cdot 2,0) \cdot 80 + (1,2 + 2 \cdot 2,0) \cdot 80 + (1,2 + 2 \cdot 1,2) \cdot 24 = 1014 \text{ м}$$

Длина проекции этих откосов, приходящаяся на 1 м^2 площади фрагмента равна:

$$l_2 = \frac{1014}{2129} = 0,476 \text{ м}^{-1}$$

Общее количество тарельчатых дюбелей на железобетонном ригеле и торце перекрытия из расчета 8 шт/м² составляет:

$$8 \times 493 = 3944 \text{ шт.}$$

Количество таких дюбелей, приходящихся на 1 м² фрагмента равно:

$$n_1 = \frac{3944}{2129} = 1,85 \text{ м}^{-2}$$

Общее количество тарельчатых дюбелей на кирпичной кладке из расчета 8 шт/м² составляет:

$$1636 \times 8 = 13088 \text{ шт.}$$

Количество таких дюбелей, приходящихся на 1 м² фрагмента равно:

$$n_2 = \frac{13088}{2129} = 6,15 \text{ м}^{-2}$$

Г. Определение удельных потерь теплоты элементами фрагмента стены

Все температурные поля рассчитываются для температуры наружного воздуха минус 28°С и температуры внутреннего воздуха 20°С.

Для плоского элемента 1 удельные потери теплоты определяются соответственно по формулам (11 и 10):

$$R_{0,1}^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,25}{2,04} + \frac{0,15}{0,045} + \frac{1}{23} = 3,64 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)}/\text{Вт}$$

$$U_1 = \frac{1}{R_{0,1}^{усл}} = \frac{1}{3,64} = 0,275 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$$

Для плоского элемента 2 удельные потери теплоты определяются аналогично:

$$R_{o2}^{усл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,25}{0,81} + \frac{0,15}{0,045} + \frac{1}{23} = 3,82 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт}$$

$$U_2 = \frac{1}{R_{o,1}^{усл}} = \frac{1}{3,82} = 0,262$$

Для линейного элемента 1 рассчитывается температурное поле узла конструкции содержащего этот элемент. Определяется величина Q_1^L , Вт/м, - потери теплоты через участок фрагмента с данным линейным элементом, приходящиеся на 1 п.п.

Расчетный участок имеет размеры 426x800 мм. Площадь стены, вошедшей в расчетный участок, составляет $S_{11} = 0,532 \text{ м}^2$.

Согласно СП 50.13330. 2012 (приложение Н) потери теплоты через стену с оконным откосом, вошедшую в участок, по результатам расчета температурного поля равны $Q_1^L = 12,0 \text{ Вт/м}$.

Потери теплоты через участок однородной стены той же площади определяются по формуле (18):

$$Q_{1,1} = \frac{20 - (-28)}{3,64} \cdot 0,532 = 7,0 \quad \text{Вт/м.}$$

Дополнительные потери теплоты через линейный элемент 1 составляют:

$$\Delta Q_1^L = 12,0 - 7,0 = 5,0 \quad \text{Вт/м.}$$

Удельные линейные потери теплоты через линейный элемент 1 определяются по формуле (16):

$$\Psi_1 = \frac{5}{20 - (-28)} = 0,104 \quad \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

Согласно СП 50.13330. 2012 (приложение Н) потери теплоты через стену с оконным откосом, вошедшую в участок, содержащий линейный элемент 2, составляют 11,2 Вт/м, а через участок однородной стены той же площади, содержащий линейный элемент 2, составляют 6,7 Вт/м.

Расчеты удельных характеристик точечных элементов сведены в табл.8.

Таблица 8

Элемент фрагмента	Потери теплоты через участок однородной стены	Потери теплоты через неоднородный участок	Удельные потери теплоты	Удельный геометрический показатель
Линейный элемент 1	$Q_{1,1} = 7,0$ Вт/м	$Q_1^L = 12,0$ Вт/(м ² °С)	$\Psi_1 = 0,104$ Вт/(м °С)	$l_1 = 0,149$ м/м ²
Линейный элемент 2	$Q_{2,1} = 6,7$ Вт/м	$Q_2^L = 11,2$ Вт/м	$\Psi_2 = 0,094$ Вт/(м °С)	$l_2 = 0,476$ м/м ²
Точечный элемент 1	$\tilde{Q}_1 = 1,65$ Вт	$Q_1 = 1,9$ Вт	$\chi_1 = 0,0052$ Вт/°С	$n_1 = 1,85$ м/м ²
Точечный элемент 2	$\tilde{Q}_1 = 1,57$ Вт	$Q_1 = 1,8$ Вт	$\chi_2 = 0,0048$ Вт/°С	$n_2 = 6,15$ м/м ²

По результатам расчетов температурных полей осуществляем в табличной форме расчет приведенного сопротивления теплопередаче стенового ограждения жилого дома (табл.9).

Таблица 9

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
1	2	3	4	5
Плоский элемент 1	$a_1 = 0,232$ м ² /м ²	$U_1 = 0,275$ Вт/(м ² °С)	$U_1 a_1 = 0,0638$ Вт/(м ² °С)	17,5

Окончание таблицы 9

1	2	3	4	5
Плоский элемент 2	$a_2 = 0,768$ $\text{м}^2 / \text{м}^2$	$U_2 = 0,262$ $\text{Вт} / (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$	$U_2 a_2 = 0,201$ $\text{Вт} / (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$	55,2
Линейный элемент 1	$l_1 = 0,149$ $\text{м} / \text{м}^2$	$\Psi_1 = 0,104$ $\text{Вт} / (\text{м} \text{ } ^\circ\text{C})$	$\Psi_1 l_1 = 0,0155$ $\text{Вт} / (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$	4,26
Линейный элемент 2	$l_2 = 0,476$ $\text{м} / \text{м}^2$	$\Psi_2 = 0,094$ $\text{Вт} / (\text{м} \text{ } ^\circ\text{C})$	$\Psi_2 l_2 = 0,0447$ $\text{Вт} / (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$	12,3
Точечный элемент 1	$n_1 = 1,85$ $1 / \text{м}^2$	$\chi_1 = 0,0052$ $\text{Вт} / ^\circ\text{C}$	$\chi_1 n_1 = 0,00962$ $\text{Вт} / (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$	2,64
Точечный элемент 2	$n_2 = 6,15$ $1 / \text{м}^2$	$\chi_2 = 0,0048$ $\text{Вт} / ^\circ\text{C}$	$\chi_2 n_2 = 0,0295$ $\text{Вт} / (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$	8,10
Итого			$l / R^{\text{пр}} = 0,364$ $\text{Вт} / (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$	100

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции рассчитывается по формуле (8):

$$R_0^{\text{пр}} = \frac{1}{0,0638 + 0,201 + 0,0155 + 0,0447 + 0,00962 + 0,0295} = \frac{1}{0,364} = 2,75 \text{ м}^2\text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$$

Коэффициент теплотехнической однородности, определенный по формуле (14) через удельные потоки теплоты, обусловленные плоскими элементами фрагмента стены, равен:

$$r = \frac{0,201 + 0,0638}{0,364} = 0,73$$

10.4. Определение толщины утеплителя в трехслойной стене жилого здания

А. Исходные данные

Место строительства – г. Пермь.

Зона влажности и влажностный режим помещения – нормальные.

Условия эксплуатации ограждающих конструкций – Б.

Продолжительность отопительного периода, $z_{от} = 225$ суток.

Расчетная температура отопительного периода, $t_{от} = -5,5$ °С.

Температура холодной пятидневки, $t_H = -35$ °С.

Температура внутреннего воздуха, $t_B = +20$ °С.

Относительная влажность внутреннего воздуха, $\varphi = 55\%$.

Коэффициент тепловосприятости внутренней поверхности ограждения, $a_B = 8,7$ Вт/(м²·°С).

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения, $a_H = 23$ Вт/(м²·°С).

Состав стенового ограждения приведен в табл. 10

Таблица 10

Состав стенового ограждения и нормируемые теплотехнические показатели материалов

Материал слоя	Толщина слоя, мм	λ , Вт/м °С	R , (м ² ·°С)/Вт
Внутренняя штукатурка	20	0,81	0,019
Кирпичная кладка из полнотелого кирпича	380	0,81	0,475
Плиты пенополистирольные	-	0,052	X
Кирпичная кладка из пустотного кирпича (облицовочного)	120	0,64	0,187

Б. Описание элементов, составляющих стеновую конструкцию

Для 3-слойной кирпичной кладки согласно «Правил расчета приведенного сопротивления теплопередаче» [12] установлены следующие характерные элементы:

- стыки с плитами перекрытий;
- стыки с балконными плитами;
- стыки с оконными блоками;
- примыкание к фундаменту;
- примыкание к покрытию;
- стыки с другими видами стеновых конструкций.

Среди перечисленных элементов в расчет не принимаются следующие элементы:

- крепеж утеплителя к стене, так как он выполнен из стекловолоконных стержней, которые оказывают незначительные потери тепла, поэтому не принимаются при расчете;
- балконные плиты отсутствуют;
- примыкание к фундаменту, так как оно утеплено и, таким образом, дополнительные тепловые потери не возникают;
- примыкание к покрытию утеплено и имеет малые тепловые потери;
- стыки с другими видами стеновых конструкций отсутствуют.

Оставшиеся элементы представляют:

- *плоский элемент 1*, состоящий из наружной стены из кирпичной кладки с утеплителем и с наружной облицовкой кирпичом;

- *линейный элемент 1*, представляющий собой стык стены с плитой перекрытия толщиной 220 мм и перфорированной в соотношении 3/1;

- *линейный элемент 2*, представляющий собой стык стены с оконным блоком (рама толщиной 80 мм, кирпичная кладка установлена с зубом 60 мм) примыкание оконного блока к стене.

Таким образом, в рассматриваемом фрагменте ограждающей конструкции один вид плоских и два вида линейных элементов.

В. Определение геометрических характеристик элементов

Фасад здания, включая световые проемы, имеет общую площадь 2740 м². На фасаде здания расположены следующие световые проемы:

- 2400 x 2200 мм (окно с балконной дверью) - 40 шт;
- 2400 x 1800 мм - 40 шт;
- 1200 x 1800 мм - 40 шт;
- 1200 x 1200 мм - 20 шт.

Суммарная площадь световых проемов составляет 611 м²:

- 2,4 x 2,0 x 40 = 240 м²; 2,4 x 1,8 x 40 = 216 м²;
- 1,2 x 1,8 x 40 = 129,6 м²; 1,2 x 1,2 x 20 = 28,4 м².

Площадь поверхности фрагмента ограждающей конструкции для расчета приведенного сопротивления теплопередаче ($R_0^{пр}$) составляет:

$$A = 2740 - 611 = 2129 \text{ м}^2.$$

Суммарная протяженность торцов плит перекрытий на фасаде составляет 458 м. Удельная геометрическая характеристика равна:

$$l_1 = \frac{458}{2129} = 0,215 \text{ м}^{-1}$$

По экспликации оконных проемов устанавливаем общую длину проекции оконных откосов:

$$L_2 = (2 \times 2,4 + 2 \times 2,0) \times 40 + (2 \times 1,2 + 2 \times 1,8) \times 40 + \\ + (2 \times 1,2 + 2 \times 1,2) \times 20 = 718 \text{ м}$$

Длина проекции этих откосов, приходящаяся на 1 м² площади фрагмента составляет:

$$l_2 = \frac{718}{2129} = 0,337 \text{ м}^{-1}$$

Для плоского элемента определяем толщину утеплителя из пенополистирольных плит через целевое сопротивление теплопередаче, которое согласно СП 50.13330.2012 должно быть не ниже требуемого, поэтому сначала определяем величину требуемого сопротивления теплопередаче стены здания через величину ГСОП по формуле (5):

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}} = (20 + 5,5) \times 225 = 5737,5^\circ \text{Ссут/год}.$$

Далее вычисляем значение требуемого сопротивления теплопередаче стены здания (R_o^{TP}) по формуле (6):

$$R_o^{\text{TP}} = a \text{ГСОП} + b = 0,00035 \times 5737,5 + 1,4 = 3,408 (\text{м}^2 \text{°С/Вт}).$$

Принимаем величину целевого сопротивления теплопередаче (R_u), равной $R_o^{\text{TP}} = 3,408 (\text{м}^2 \text{°С/Вт})$ и определяем толщину утеплителя. Для этого целевое сопротивление теплопередаче умножаем на 1,5 и подбираем конструкцию стены со значением $R_{oi}^{\text{усл}} = 1,5 \cdot R_u$.

$$\delta_{\text{ут}} = \lambda_{\text{ут}} \left(1,5 R_u - \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} - \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} - \frac{\delta_{\text{обл}}}{\lambda_{\text{обл}}} - \frac{\delta_{\text{к}}}{\lambda_{\text{к}}} - \frac{\delta_{\text{шт}}}{\lambda_{\text{шт}}} \right) = \\ 0,052 \left(1,5 \times 3,408 - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{23} - \frac{0,12}{0,64} - \frac{0,38}{0,81} - \frac{0,02}{0,81} \right) = 0,222 \text{ м}.$$

Из экономических соображений принимаем толщину утеплителя из пенополистирольных плит равной 200 мм, и рассчитываем условное сопротивление теплопередаче стенового ограждения по формуле (11):

$$R_{oi}^{\text{усл}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,20}{0,052} + \frac{0,12}{0,64} + \frac{1}{23} = 4,686 (\text{м}^2 \text{°С/Вт}).$$

Г. Определение удельных потерь теплоты элементами фрагмента стены

Для определения приведенного сопротивления теплопередачи исследуемой стены необходимо вычислить удельные потери теплоты для всех элементов, входящих в ограждающую конструкцию.

Сначала определяем удельные потери теплоты для плоского элемента стены по формуле (10):

$$U_I = \frac{1}{4,686} = 0,213 \text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$$

По приложению (6), табл.Е.3 устанавливаем удельные потери теплоты через стык стены с плитой перекрытия, $\Psi_1 \text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$.

Анализируя табл. Е.3 устанавливаем, что удельные потери теплоты для теплотехнических показателей рассматриваемого варианта стенового ограждения в таблице отсутствуют, поэтому их определяем интерполяцией. Отличия заключаются в 3-х параметрах: теплопроводности кладки; термического сопротивления слоя утеплителя и толщины плиты перекрытия.

Сначала определяем удельные потери теплоты для коэффициента теплопроводности кирпичной кладки - $\lambda_0 = 0,81 \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{°C})$.

1. Для плиты перекрытия 160 мм и $R_{yt} = 2,44(\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$:
 $\Psi = 0,154 + (0,163 - 0,154) \times (0,81 - 0,6) / 0,6 = 0,159 \text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$;

2. Для плиты перекрытия 160 мм и $R_{yt} = 6,1(\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$:
 $\Psi = 0,154 + (0,204 - 0,194) \times (0,81 - 0,6) / 0,6 = 0,197 \text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$;

3. Для плиты перекрытия 210 мм и $R_{yt} = 2,44(\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$:
 $\Psi = 0,208 + (0,217 - 0,208) \times (0,81 - 0,6) / 0,6 = 0,211 \text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$;

4. Для плиты перекрытия 210 мм и $R_{yt} = 6,1(\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$:

$$\Psi = 0,250 + (0,263 - 0,250) \times (0,81 - 0,6) / 0,6 = 0,254 \text{Вт}/(\text{м} \text{°C}).$$

Затем устанавливаем удельные потери тепла для термического сопротивления утеплителя $R_{yt} = 3,846 (\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$ при теплопроводности материала кладки - $\lambda_o = 0,81 \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$.

1. Для плиты перекрытия 160 мм и $R_{yt} = 3,846 \text{ м}^2\text{°C})/\text{Вт}$:

$$\begin{aligned} \Psi &= 0,159 + (0,197 - 0,159) (3,846 - 2,44) / 2,44 = \\ &= 0,181 \text{Вт}/(\text{м} \text{°C}); \end{aligned}$$

2. Для плиты перекрытия 210 мм и $R_{yt} = 3,846 \text{ м}^2\text{°C})/\text{Вт}$:

$$\begin{aligned} \Psi &= 0,211 + (0,254 - 0,211) \times (3,846 - 2,44) / 2,44 = \\ &= 0,238 \text{Вт}/(\text{м} \text{°C}); \end{aligned}$$

Третьим этапом расчета определяем удельные потери тепла для плиты перекрытия 220 мм, которые составляют:

$$\Psi_1 = (0,238 - 0,182) / (210 - 160) \times 10 = 0,249 \text{Вт}/(\text{м} \text{°C});$$

Удельные потери теплоты, $\Psi_2, \text{Вт}/(\text{м} \text{°C})$, для узла примыкания оконной рамы толщиной 80 мм к стене устанавливаем по приложению (б), табл. Е.11 по одному параметру - термическому сопротивлению теплопередаче утеплителя - $R_{yt} = 3,846 (\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$.

Анализируя табл.Е.11, устанавливаем, что в пределах термических сопротивлений утеплителя от 1,5 до 6,0 ($\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$ численные значения удельных потерь теплоты, Ψ_2 составляют 0,104 $\text{Вт}/(\text{м} \text{°C})$, поэтому и для термического сопротивления $R_{yt} = 3,846 (\text{м}^2 \text{°C})/\text{Вт}$ в узле примыкания

оконной рамы к стене с облицовкой кирпичом удельные потери теплоты принимаем равными:

$$\Psi_2 = 0,104 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C}).$$

Рассчитанные удельные потери теплоты для всех элементов ограждающей конструкции сводятся в табл. 11.

Таблица 11

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом	Доля общего потока теплоты через фрагмент, %
Плоский элемент 1	$a = 1 \text{ м}^2/\text{м}^2$	$U_1=0,213 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$	$U_1 a_1=0,213 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$	55,2
Линейный элемент 1	$l_1= 0,215\text{м}/\text{м}^2$	$\Psi_1=0,249 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$	$\Psi_1 l_1=0,053 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$	24,6
Линейный элемент 2	$l_2=0,337\text{м}/\text{м}^2$	$\Psi_2=0,104 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$	$\Psi_2 l_2=0,034 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$	20,2
Итого			$1/0,3 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$	100

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции рассчитывается по формуле (8):

$$R_o^{np} = \frac{1}{0,213+0,053+0,034} = \frac{1}{0,3} = 3,333 \text{ (м}^{\circ}\text{C}/\text{Вт}).$$

Полученное приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции $R_o^{np} = 3,333(\text{м}^{\circ}\text{C}/\text{Вт})$, меньше требуемого сопротивления теплопередаче $R_o^{тр} = 3,408 (\text{м}^{\circ}\text{C}/\text{Вт})$ на 2,2 %, что указывает на тот факт, что принятая в результате расчета толщина утеплителя удовлетворяет требованиям тепловой защиты здания..

10.5. *Определение возможности применения «сэндвич-панели» толщиной 200 мм в качестве стенового ограждения производственного здания*

А. Исходные данные

Место строительства – г. Пермь.

Зона влажности и влажностный режим помещения – нормальные.

Условия эксплуатации ограждающих конструкций – Б.

Продолжительность отопительного периода, $z_{от} = 225$ суток.

Расчетная температура отопительного периода, $t_{от} = -5,5$ °С.

Температура холодной пятидневки, $t_{н} = -35$ °С.

Температура внутреннего воздуха, $t_{в} = +16$ °С.

Относительная влажность внутреннего воздуха, $\varphi = 55\%$.

Коэффициент тепловосприятости внутренней поверхности ограждения, $a_{в} = 8,7$ Вт/(м²·°С).

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения, $a_{н} = 23$ Вт/(м²·°С).

«Сэндвич-панель» с эффективным утеплителем из пенополистирола и двумя металлическим обшивками. Размер панели 6000x2000 мм. Конструктивные характеристики стеновой панели приведены в табл.12.

Таблица 12

№ п/п	Материал слоя	Толщина слоя, мм	Плотность материала, кг/м ³	λ , Вт/м °С
1	Пенополистирол	200	100	0,04
2	Стальные обшивки	0,001	5100	58

Б. Порядок расчета

Определяем величину требуемого сопротивления теплопередаче стены здания через величину ГСОП по формуле (5):

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}} = (16 + 5,5) \times 225 = 5737,5 \text{ } ^\circ\text{Ссут/год} .$$

Вычисляем значение требуемого сопротивления теплопередаче стены здания по формуле (6):

$$R_o^{\text{TP}} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0,0002 \times 5737,5 + 1,0 = 2,147 \text{ (м}^2\text{ } ^\circ\text{С/Вт)},$$

где коэффициенты a и b для стен производственных зданий принимаются по СП 50.13330.2012, табл.3, п.3:

$$a = 0,0002 \text{ и } b = 1,0.$$

В. Расчет коэффициентов теплотехнической однородности и приведенного сопротивления теплопередаче для металлической «сэндвич-панели»

Отбортовка стальных обшивок вдоль продольных сторон панели приводит к образованию теплопроводного включения типа (11,б) шириной 0,002 м.

Сопротивления теплопередаче вдали от теплопроводного включения (R_o^{con}) и по теплопроводному включению (R_o^{I}) составляют:

$$\begin{aligned} R_o^{\text{con}} &= R_{\text{в}} + R_1 + R_2 + R_{\text{н}} = \\ &= 1/8,7 + (2 \times 0,0001)/58 + 0,2/0,04 + 1/23 = 5,16 \text{ (м}^2\text{ } ^\circ\text{С)/Вт}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_o^{\text{I}} &= R_{\text{в}} + R_1 + R_{\text{mv}} + R_{\text{н}} = \\ &= 1/8,7 + (2 \times 0,0001)/58 + 0,2/58 + 1/23 = 0,162 \text{ (м}^2\text{ } ^\circ\text{С)/Вт}. \end{aligned}$$

где $R_{\text{в}}$ – сопротивление теплоотдаче внутренней поверхности ограждения панели, (м²°С)/Вт;

R_1 – сопротивление теплопередаче стальных обшивок, (м²°С)/Вт;

R_2 – сопротивление теплопередаче пенополистирола, (м²°С)/Вт;

$R_{ТВ}$ – сопротивление теплопередаче теплопроводного включения, $(\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$;

R_n – сопротивление теплоотдачи наружной поверхности ограждения панели, $(\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$.

Значение коэффициента безразмерного параметра теплопроводного включения определяем по табл.13 для схемы теплопроводного включения (11, б) в зависимости от следующего отношения:

$$a \lambda_1 / \delta_1 \lambda_2 = 0,002 \times 58 / 0,2 \times 0,04 = 14,5,$$

где a – толщина теплопроводного включения, м;

λ_1 – коэффициент теплопроводности теплопроводного включения, $\text{Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$;

δ_1 – толщина слоя утеплителя м;

λ_2 – коэффициент теплопроводности утеплителя, $\text{Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$;

Таблица 13

Определение коэффициента Ψ

Схема теплопроводного включения	Значения коэффициента Ψ при $a \lambda_1 / \delta_1 \lambda_2$							
	0,25	0,5	1	2	5	10	20	50
1	0,024	0,041	0,068	0,093	0,121	0,137	0,147	0,155
11б	-	-	-	0,09	0,231	0,43	0,665	1,254

По табл. 13 интерполяцией определяем безразмерный коэффициент Ψ :

$$\Psi = 0,43 + [(0,665 - 0,43) 4,5] / 10 = 0,536.$$

Коэффициент (κ_i), зависящий от типа i -ого металлического теплопроводного включения рассчитывается по формуле (23):

$$\kappa_i = 1 + \Psi_i \delta_1^2 / (\lambda_1 a R_o^{con}), \quad (23)$$

где Ψ_i – коэффициент, зависящий от типа теплопроводного включения, принимаемый по табл.13;

δ_1, λ_1 – толщина, м, и коэффициент теплопроводности утеплителя i -ого участка ограждающей конструкции соответственно;

a – ширина теплопроводного включения, м;

(R_o^{con}) – сопротивления теплопередаче вдали от теплопроводного включения, $(\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$.

$$K_i = 1 + 0,536 \times 0,2^2 / (0,04 \times 0,002 \times 5,16 = 52,94).$$

Определяем коэффициент теплотехнической однородности по формуле (24):

$$R = [1 + (1/A) \left(\sum_{i=1}^m \right) R_o^{con} / R_o^l) a_i L_i \kappa_i], \quad (24)$$

где A – площадь зоны влияния i -го участка теплопроводного включения ограждающей конструкции, (для стыков 1 м^2);

m – число теплопроводных включений конструкции;

$a_i L_i$ – ширина и длина, м, i -го участка теплопроводного включения ограждающей конструкции соответственно, м;

Подставляем перечисленные значения в расчетную формулу (23) и определяем значение коэффициента теплотехнической однородности (r):

$$r = 1 / \{ [1 + [5,16(12 \times 0,162)] \times 0,002 \times 6 \times 52,94] \} = 0,372.$$

Рассчитываем приведенное сопротивление теплопередаче сэндвич-панели по формуле (14):

$$R_o^{np} = R_o \cdot r = 5,16 \times 0,372 = 1,92 (\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}.$$

Согласно проведенных расчетов установлено, что требуемое сопротивления теплопередаче $R_o^{tp} = 2,14 (\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$, а приведенное сопротивление теплопередаче сэндвич – панели - $R_o^{np} = 1,92 (\text{м}^2\text{°C})/\text{Вт}$. При сравнении этих результатов видно, что значение приведенного сопротивления теплопередаче «сэндвич – панели» отличается от требуемого сопротивления теплопередаче всего лишь на 2,3 %.

Вывод: В связи с тем, что приведенное сопротивление теплопередачи (R_o^{np}) выше на 2,3% требуемого сопротивления теплопередаче ($R_o^{тр}$), следовательно, стеновые панели типа «сэндвич» толщиной 200 мм можно применять в качестве стенового ограждения промышленных зданий из условия нормативных требований тепловой защиты для климатических условий г. Перми.

11. ВЛИЯНИЕ ПЕРФОРАЦИИ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ НА СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ДЛЯ УЗЛОВ, ВХОДЯЩИХ В ОГРАЖДАЮЩУЮ КОНСТРУКЦИЮ

Современные требования по тепловой защите зданий связаны с применением эффективных утеплителей с низкой теплопроводностью. Как показала практика, наиболее значительные тепловые потери происходят в местах опирания плит перекрытия на стены.

Для снижения тепловых потерь через стыки, плиты перекрытия перфорируют, или применяют иные теплозащитные мероприятия.

Плиты перекрытий без перфорации или иного теплозащитного мероприятия приводят к низким температурам на внутренней поверхности стены и значительным потерям тепловой энергии.

Для эффективности теплозащитных мероприятий важно, чтобы перфорация, или ее аналог по расположению совпадали с расположением слоя наиболее эффективного утеплителя в стене. В противном случае будет происходить обгибание тепловым потоком перфорации по материалам стены.

В настоящем разделе предполагается, что плита перекрытия перфорируется в соответствии со схемой на рис. 1.

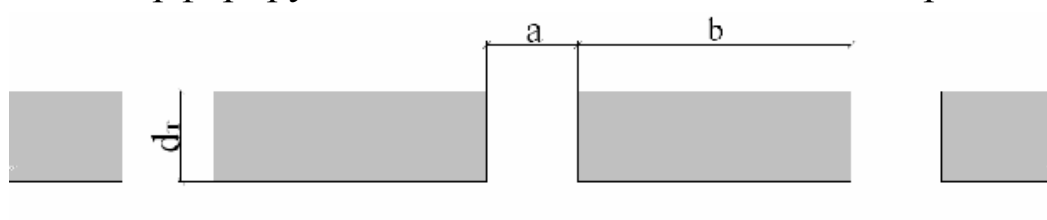


Рис.1. Схема перфорации плиты перекрытия

На схеме серым цветом закрашены отверстия в плите перекрытия, заполняемые термовкладышами из МВП или пенополистирола. Важными параметрами, характеризующими перфорацию, являются: соотношение длины термовкла-

дышей к расстоянию между ними a/b , в соответствии с обозначениями на рис.1, и толщина перфорируемого слоя или термовкладыша d_t . В таблицах соотношение длины термовкладышей к расстоянию между ними приведены в безразмерном виде. Например, перфорация 3/1 обозначает, что $a/b=3/1$.

Соотношение пустоты/бетонные перемычки 3/1 – типовое для современного строительства. Оно эффективней, чем соотношение пустот 1/1, в 1,5 раза и позволяет достигать минимально допустимые значения приведенного сопротивления теплопередаче в большинстве практически важных случаев. Опасность промерзания практически отсутствует.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На смену устаревших методик теплотехнического расчета наружных ограждающих конструкций, изложенных в СНиП 23-03-2003 «Тепловая защита зданий» в 2012 году разработан и введен в действие новый нормативный документ СП50.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 «Тепловая защита зданий», в котором приведены новые методики теплотехнического расчета, соответствующие европейским и международным нормативным документам.

Отсутствие в учебной литературе современных методик по теплотехническому расчету ограждающих конструкций вызвало разработку настоящего учебно-методического пособия, в котором отражены современные требования и методики по теплотехническому расчету ограждающих конструкций зданий.

Приведенные в учебно-методическом пособии современные методики теплотехнического расчета и примеры расчета наружных стеновых ограждений, позволяют студентам использовать их при выполнении курсовых проектов и выпускных квалификационных работ.

Наличие в учебно-методическом пособии в разделе «Приложения» необходимых для теплотехнического расчета теплотехнических характеристик строительных материалов и температурных данных для регионов строительства намного облегчает эту задачу.

Учебно-методическое пособие разработано для самостоятельной работы студентов очной и заочной форм обучения при выполнении курсовых проектов и выпускных квалификационных работ, а также как методический материал при подготовке и сдаче экзамена по дисциплине «Физика среды и ограждающих конструкций».

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

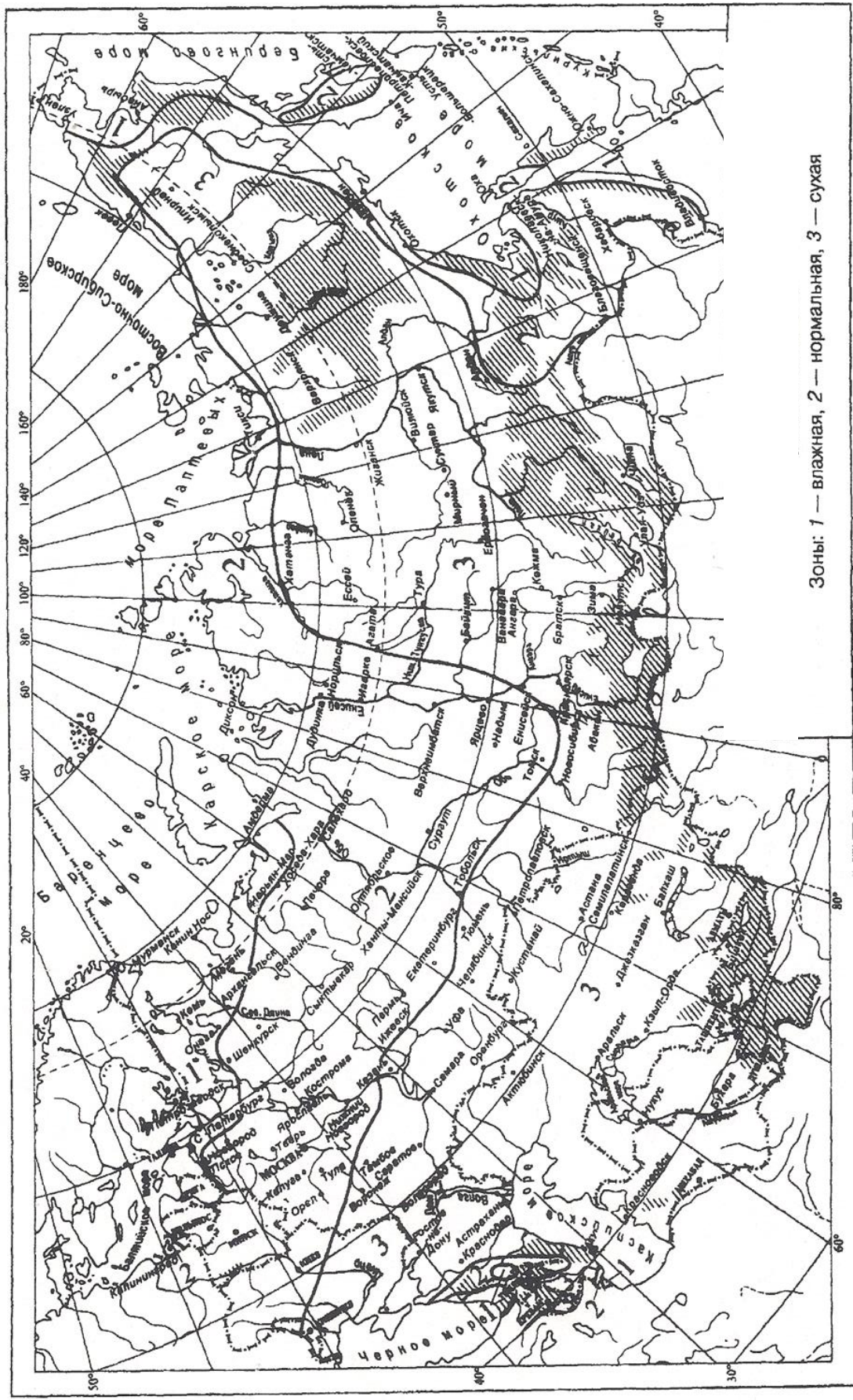
1. Теоретические основы теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий.
2. От чего зависят коэффициенты теплопроводности материалов.
3. Как определяются градусо-сутки отопительного периода.
4. Как определяются базовые значения сопротивления теплопередаче конструктивных элементов зданий.
5. Определение нормируемого значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий.
6. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче теплозащитной оболочки здания.
7. Алгоритмы расчета приведенного сопротивления теплопередаче
8. Типовая разбивка на теплозащитные элементы основных видов стен зданий.
9. Варианты расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий.
10. Определение санитарно-гигиенических требований ограждающих конструкций зданий.
11. Определение приведенного сопротивления теплопередаче стены, выполненной по системе СТФК.
12. Определение толщины ячеистых блоков стены жилого здания из условия достижения целевого сопротивления теплопередаче.
13. Определение приведенного сопротивления теплопередаче фасада жилого здания с использованием расчетов температурных полей.
14. Влияние перфорации плит перекрытия на снижение тепловых потерь ограждающих конструкций зданий.
15. Типы теплозащитных элементов узлов ограждающих конструкций зданий.
16. Определение расчетных значений удельных потерь теплоты для узла примыкания плит перекрытия к стене.
17. Определение расчетных значений удельных потерь теплоты через узлы примыкания балконных плит к стене.
18. Определение расчетных значений удельных потерь теплоты через узлы примыкания оконных блоков к стене.
19. Удельные потери теплоты для стальных тарельчатых анкеров.
20. Методика расчета удельных потерь теплоты для фрагмента ограждающей конструкции.
21. Что означает точка росы.
22. Как определяется коэффициент теплотехнической однородности (r).
23. Как определяется продолжительность отопительного периода.
24. Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период.
25. Условное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
2. СанПиН 2.1.2.2645-10 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях.
3. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. ОАО «ЦПП» Минрегион России. 2011. 85 с.
4. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: ФАУ «ФЦС», 2012. 96с.
5. СП 54.13330.2011. Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003. М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2011. 20 с.
6. СП 55.13330.2011. Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-02-2003. М.: Госстрой России : ГУП ЦПП, 2011. 13 с.
7. СП 56.13330.2011. Производственные здания. М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2011. 10 с.
8. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. ОАО «ЦПП» Минрегион России, 2012. 78 с.
9. СП 118.13330.2012. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009. Введ. 2013-01-01. М.: Минрегион России, 2002. 51 с.
10. СП 131.13330.2011. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99*. М.: Минрегион России, 2012. 109с.
11. Федеральный закон Российской Федерации № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
12. Свод правил «Правила расчета приведенного сопротивления теплопередаче» Таблицы теплотехнических характеристик типовых элементов ограждающих конструкций. Минрегион развития РФ. М.2013. 41 с.
13. Гагарин В.Г. , Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 4–12.
14. Кривошеин А.Д., Федоров С.В. К вопросу о расчете приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 8. С. 21–27.
15. Крайнов Д.В., Садыков Р.А. Определение дополнительных потерь теплоты через элементы фрагмента ограждающей конструкции // Жилищное строительство. 2012. № 6. С. 10–12.

Приложение 1

Схематическая карта зон влажности



Зоны: 1 — влажная, 2 — нормальная, 3 — сухая

Приложение 2

Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции

Внутренняя поверхность ограждения	Коэффициент теплового восприятия $a_{в}$, 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 $h/a \leq 0,3$	8,7
2. Потолков с выступающими ребрами при отношении $h/a > 0,3$	7,6
3. Окон	8,0
4. Зенитных фонарей	9,9

Приложение 3

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции

Наружная поверхность ограждающих конструкций	Коэффициент теплоотдачи для зимних условий $a_{н}$, Вт/(м ² ·°С)
1. Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной-климатической зоне	23
2. Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной-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

Приложение 4

Условия эксплуатации ограждающих конструкций

Влажностный режим помещений здания	Условия эксплуатации А и Б в зоне влажности района строительства		
	сухой	нормальный	влажный
Сухой	А	А	Б
Нормальный	А	Б	Б
Влажный или мокрый	Б	Б	Б

Приложение 5

Нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции

Здания и помещения	Нормируемый температурный перепад Δt^H °С,			
	наружных стен	покрытий и чердачных перекрытий	перекрытий над проездами, подвалами и подпольями	зенитных фонарей
1. Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	4,0	3,0	2,0	$t_e - t_n$
2. Общественные, кроме указанных в поз. 1, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	4,5	4,0	2,5	$t_e - t_n$
3. Производственные с сухим и нормальным режимами	$t_e - t_p$ но не более 7	$0,8(t_e - t_p)$. но не более 6	2,5	$t_e - t_p$
4. Производственные и другие помещения с влажным или мокрым режимом	$t_e - t_p$	$0,8(t_e - t_p)$	2,5	—
5. Производственные здания со значительными избытками явной теплоты (более 23 Вт/м ³) и расчетной относительной влажностью внутреннего воздуха более 50 %	12	12	2,5	$t_e - t_p$

Приложение 6

Определение расчетных значений удельных потерь теплоты, Ψ , Вт/($m^2 \cdot C$),
для узла примыкания плит перекрытия к стене

*1. Кладка из блоков легкого, особо легкого бетона,
или крупноформатных камней с облицовкой кирпичом*

Параметры, влияющие на потери теплоты через узел:

- толщина кладки, $d_{кл}$, мм;
- теплопроводность кладки, $\lambda_{кл}$, Вт/($m \cdot C$);
- перфорация плиты перекрытия;
- эффективная толщина плиты перекрытия, $d_{п}$, мм;
- толщина перфорации 160 мм.

Т а б л и ц а Е.1

Перфорация 3/1			
$d_{п} = 160$			
	$\lambda_{кл} = 0,1$	$\lambda_{кл} = 0,18$	$\lambda_{кл} = 0,32$
$d_{кл} = 200$	0,188	0,138	0,077
$d_{кл} = 300$	0,198	0,158	0,111
$d_{кл} = 500$	0,195	0,175	0,140
$d_{п} = 210$			
$d_{кл} = 200$	0,240	0,177	0,100
$d_{кл} = 300$	0,252	0,202	0,140
$d_{кл} = 500$	0,247	0,221	0,173

Т а б л и ц а Е.2

Перфорация 3/1. Толщина перфорации 220 мм			
$d_{п} = 160$			
	$\lambda_{кл} = 0,1$	$\lambda_{кл} = 0,18$	$\lambda_{кл} = 0,32$
$d_{кл} = 200$	0,169	0,119	0,058
$d_{кл} = 300$	0,171	0,131	0,081
$d_{кл} = 500$	0,174	0,154	0,117
$d_{п} = 210$			
$d_{кл} = 200$	0,217	0,154	0,075
$d_{кл} = 300$	0,221	0,169	0,106
$d_{кл} = 500$	0,222	0,194	0,146

2. Стена – трехслойная с облицовкой кирпичом

Параметры, влияющие на потери теплоты через узел:

- термическое сопротивление слоя утеплителя, $R_{ут}$, ($m^2 \cdot C$)/Вт;
- теплопроводность основания, $\lambda_{кл}$, Вт/($m \cdot C$);
- перфорация плиты перекрытия;

- эффективная толщина плиты перекрытия, $d_{п}$, мм.

Во всех расчетах толщина основания 250 мм принята равной 250 мм, а толщина перфорации 160 мм.

Таблица Е.3

Перфорация 3/1			
$d_{п} = 160$			
	$\lambda_{о} = 0,2$	$\lambda_{о} = 0,6$	$\lambda_{о} = 1,8$
$R_{вт} = 1,22$	0,129	0,067	0,048
$R_{вт} = 2,44$	0,169	0,154	0,163
$R_{вт} = 6,1$	0,190	0,194	0,204
$d_{п} = 210$			
$R_{вт} = 1,22$	0,179	0,113	0,092
$R_{вт} = 2,44$	0,225	0,208	0,217
$R_{вт} = 6,1$	0,245	0,250	0,263

Приложение 7

Определение расчетных значений удельных потерь теплоты, Ψ , Вт/($м^{\circ}C$), через узлы примыкания балконных плит к стене

1. Стена – с наружным утеплением и тонкой облицовкой (штукатурный или вентилируемый фасад)

При наружном утеплении выходы плиты перекрытия закрываются утеплителем и не являются «мостиками холода». Для данного вида стен следует учитывать только стыки с балконными плитами, так как в этих местах разрывается слой утеплителя.

Параметры, влияющие на потери теплоты через узел:

- термическое сопротивление слоя утеплителя, $R_{ут}$, ($м^{20}C$)/Вт;
- теплопроводность основания, $\lambda_{о}$, Вт/($м^{\circ}C$);
- эффективная толщина плиты перекрытия, $d_{п}$, мм.

Таблица Е.4

Перфорация 1/1			
$d_{п} = 160$			
	$\lambda_{о} = 0,2$	$\lambda_{о} = 0,6$	$\lambda_{о} = 1,8$
$R_{вт} = 1,5$	0,400	0,413	0,477
$R_{вт} = 3,0$	0,346	0,371	0,419
$R_{вт} = 6,0$	0,311	0,338	0,374
$d_{п} = 210$			
$R_{вт} = 1,5$	0,483	0,492	0,556
$R_{вт} = 3,0$	0,429	0,456	0,510
$R_{вт} = 6,0$	0,393	0,421	0,466

Таблица Е.5

Перфорация 3/1			
$d_{п} = 160$			
	$\lambda_o = 0,2$	$\lambda_o = 0,6$	$\lambda_o = 1,8$
$R_{вт} = 1,5$	0,279	0,265	0,285
$R_{вт} = 3,0$	0,225	0,227	0,244
$R_{вт} = 6,0$	0,209	0,219	0,237
$d_{п} = 210$			
$R_{вт} = 1,5$	0,335	0,315	0,333
$R_{вт} = 3,0$	0,281	0,283	0,302
$R_{вт} = 6,0$	0,268	0,279	0,297

2. Стена – тонкостенные панели (в том числе «сэндвич-панели»)

Для панелей без облицовки маловероятна установка панелей в плоскости перфорации, поэтому их следует навешивать, снаружи закрывая панелью выход плиты перекрытия.

Параметры, влияющие на потери теплоты через узел:

- термическое сопротивление слоя утеплителя, $R_{ут}$, ($m^2 \cdot C$)/Вт;
- наличие облицовки;
- перфорация плиты перекрытия;
- эффективная толщина плиты перекрытия, $d_{п}$, мм.

Во всех расчетах толщина перфорации 160 мм.

Таблица Е.6

Без облицовки			
$d_{п} = 160$			
Перфорация	$R_{вт} = 2,0$	$R_{вт} = 4,0$	$R_{вт} = 7,0$
3/1	0,302	0,256	0,248
5/1	0,221	0,190	0,193
$d_{п} = 210$			
3/1	0,371	0,329	0,316
5/1	0,271	0,244	0,248

Таблица Е.7

С облицовкой кирпичом			
$d_{п} = 160$			
Перфорация	$R_{вт} = 2,0$	$R_{вт} = 4,0$	$R_{вт} = 7,0$
3/1	0,258	0,238	0,233
5/1	0,190	,177	0,185
$d_{п} = 210$			
3/1	0,319	0,302	0,296
5/1	0,235	0,227	0,235

Приложение 8

Определение расчетных значений удельных потерь теплоты, Ψ , Вт/(м²С), через узлы примыкания оконных блоков к стене

*1. Кладка из блоков легкого, особо легкого бетона,
или крупноформатных камней с облицовкой кирпичом*

Параметры, влияющие на потери теплоты через узел:

- толщина кладки, $d_{\text{кл}}$, мм;
- теплопроводность кладки, $\lambda_{\text{кл}}$, Вт/(м²С);
- толщина рамы, $d_{\text{р}}$, мм;
- наличие зуба при установке окна, d_3 , мм.

Таблица Е.8

При толщине рамы 60 мм			
$d_3 = 0$ мм.			
	$\lambda_{\text{кл}} = 0,1$	$\lambda_{\text{кл}} = 0,18$	$\lambda_{\text{кл}} = 0,32$
$d_{\text{кл}} = 200$	0,017	0,040	0,071
$d_{\text{кл}} = 300$	0,038	0,067	0,106
$d_{\text{кл}} = 500$	0,063	0,110	0,169
$d_3 = 60$ мм.			
$d_{\text{кл}} = 200$	0,008	0,025	0,050
$d_{\text{кл}} = 300$	0,029	0,054	0,088
$d_{\text{кл}} = 500$	0,056	0,100	0,152

Таблица Е.9

При толщине рамы 80 мм			
$d_3 = 0$ мм.			
	$\lambda_{\text{кл}} = 0,1$	$\lambda_{\text{кл}} = 0,18$	$\lambda_{\text{кл}} = 0,32$
$d_{\text{кл}} = 200$	0,010	0,027	0,054
$d_{\text{кл}} = 300$	0,029	0,054	0,087
$d_{\text{кл}} = 500$	0,054	0,096	0,150
$d_3 = 80$ мм.			
$d_{\text{кл}} = 200$	0,004	0,017	0,038
$d_{\text{кл}} = 300$	0,023	0,044	0,073
$d_{\text{кл}} = 500$	0,048	0,088	0,135

Таблица Е.10

При толщине рамы 120 мм			
$d_3 = 0$ мм.			
	$\lambda_{\text{кл}} = 0,1$	$\lambda_{\text{кл}} = 0,18$	$\lambda_{\text{кл}} = 0,32$
$d_{\text{кл}} = 200$	0,000	0,010	0,031
$d_{\text{кл}} = 300$	0,038	0,033	0,058
$d_{\text{кл}} = 500$	0,063	0,075	0,117
$d_3 = 60$ мм.			
$d_{\text{кл}} = 200$	0,000	0,004	0,021
$d_{\text{кл}} = 300$	0,013	0,027	0,048
$d_{\text{кл}} = 500$	0,038	0,069	0,106

2. Стена – трехслойная с облицовкой кирпичом

Параметры, влияющие на потери теплоты через узел:

- толщина рамы, d_p , мм;
- термическое сопротивление слоя утеплителя, $R_{\text{ут}}$, ($\text{м}^2\text{°C}$)/Вт;
- теплопроводность основания, λ_o , Вт/($\text{м}^{\circ}\text{C}$);

Таблица Е.11

	$d_p=60$	$d_p=80$	$d_p=120$
$R_{\text{ут}} = 1,5$	0,121	0,104	0,083
$R_{\text{ут}} = 3,0$	0,121	0,104	0,079
$R_{\text{ут}} = 6,0$	0,132	0,114	0,092

3. Стена – системы фасадные теплоизоляционные, композиционные с наружнымиштукатурными слоями

Параметры, влияющие на потери теплоты через узел:

- нахлест утеплителя, d_n , мм
- термическое сопротивление слоя утеплителя, $R_{\text{ут}}$, ($\text{м}^2\text{°C}$)/Вт;
- теплопроводность основания, λ_o , Вт/($\text{м}^{\circ}\text{C}$);
- толщина основания 250 мм, толщина рамы 70 мм.

Таблица Е.12

Рама сразу за утеплителем			
$d_H = 0$			
	$\lambda_o = 0,2$	$\lambda_o = 0,6$	$\lambda_o = 1,8$
$R_{\text{ут}} = 1,5$	0,054	0,098	0,133
$R_{\text{ут}} = 3,0$	0,050	0,092	0,127
$R_{\text{ут}} = 6,0$	0,055	0,097	0,129
$d_H = 20$ мм			
$R_{\text{ут}} = 1,5$	0,042	0,067	0,083
$R_{\text{ут}} = 3,0$	0,033	0,054	0,069
$R_{\text{ут}} = 6,0$	0,034	0,056	0,068
$d_H = 60$ мм			
$R_{\text{ут}} = 1,5$	0,013	0,031	0,042
$R_{\text{ут}} = 3,0$	0,000	0,010	0,019
$R_{\text{ут}} = 6,0$	0,000	0,006	0,012

Таблица Е.13

Рама сдвинута в утеплитель на 100 мм			
$d_H = 0$			
	$\lambda_o = 0,2$	$\lambda_o = 0,6$	$\lambda_o = 1,8$
$R_{yt} = 1,5$	0,156	0,167	0,183
$R_{yt} = 3,0$	0,119	0,119	0,123
$R_{yt} = 6,0$	0,109	0,112	0,114
$d_H = 20\text{мм}$			
$R_{yt} = 1,5$	-	-	-
$R_{yt} = 3,0$	0,092	0,092	0,094
$R_{yt} = 6,0$	0,072	0,072	0,072
$d_H = 60\text{мм}$			
$R_{yt} = 1,5$	-	-	-
$R_{yt} = 3,0$	0,054	0,052	0,054
$R_{yt} = 6,0$	0,012	0,012	0,012

Таблица Е.14

Рама сдвинута от утеплителя на 100 мм.			
$d_H = 0$			
	$\lambda_o = 0,2$	$\lambda_o = 0,6$	$\lambda_o = 1,8$
$R_{yt} = 1,5$	0,106	0,319	0,696
$R_{yt} = 3,0$	0,121	0,346	0,738
$R_{yt} = 6,0$	0,134	0,366	0,764
$d_H = 20\text{мм}$			
$R_{yt} = 1,5$	0,063	0,135	0,196
$R_{yt} = 3,0$	0,069	0,140	0,196
$R_{yt} = 6,0$	0,078	0,147	0,202
$d_H = 60\text{мм}$			
$R_{yt} = 1,5$	0,017	0,054	0,081
$R_{yt} = 3,0$	0,015	0,046	0,067
$R_{yt} = 6,0$	0,018	0,047	0,064

4. Стена – тонкостенные панели (в том числе «сэндвич-панели»)

Параметры, влияющие на потери теплоты через узел:

- термическое сопротивление слоя утеплителя, R_{yt} , (м²°С)/Вт;
- наличие облицовки;
- толщина рамы, d_p , мм;

Таблица Е.15

Без облицовки			
	$d_p=60$	$d_p=80$	$d_p=120$
$R_{VT} = 2,0$	0,004	0,000	-
$R_{VT} = 4,0$	0,038	0,027	0,008
$R_{VT} = 7,0$	0,063	0,054	0,033

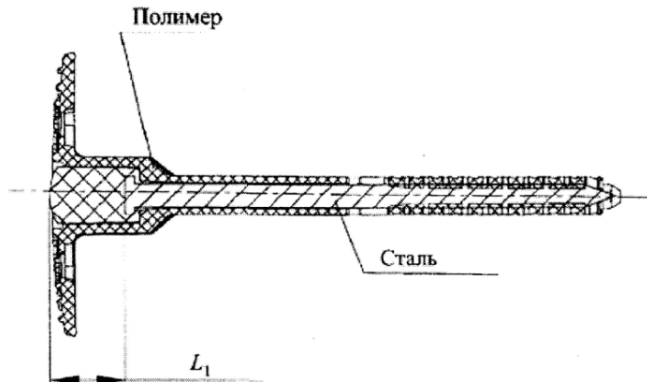
Таблица Е.16

С облицовкой кирпичом			
	$d_p=60$	$d_p=80$	$d_p=120$
$R_{VT} = 2,0$	0,008	0,000	-
$R_{VT} = 4,0$	0,029	0,021	0,008
$R_{VT} = 7,0$	0,052	0,044	0,031

Приложение 9

Определение расчетных значений удельных потерь теплоты, χ_k , Вт/(°С), для стальных тарельчатых анкеров ограждающих конструкций зданий по СП 230.1325800. 2015

Таблица Е.17

	χ , Вт/°С	
	$L1 \leq 2$ мм	0,006
	$2 < L1 \leq 6$ мм	0,005
	$6 < L1 \leq 11$ мм	0,004
	$11 < L1 \leq 16$ мм	0,003
	$16 < L1 \leq 24$ мм	0,0025
	$24 < L1 \leq 40$ мм	0,002
	$40 < L1 \leq 70$ мм	0,0015
	70 мм $< L1$	0,001

Учебное издание

Шихов Александр Николаевич

**АКТУАЛИЗИРОВАННАЯ РЕДАКЦИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ**

Учебно-методическое пособие

Подписано в печать 01.03. 2018. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Усл. печ. л. 4,68. Тираж 50 экз. Заказ № 31

ИПЦ «Прокрость»

Пермского государственного аграрно-технологического университета
имени академика Д.Н. Прянишникова,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23 тел. (342) 217-95-42