

3.КОМПЛЕКС МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ ДЛЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

3.1.ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ И РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЗДАНИЯ

Задание на курсовую работу по строительной теплофизике

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

1.Характеристика здания (чертеж прилагается к заданию):

1.1.Назначение _____

1.2.Район строительства - вариант по Приложению 1 _____

1.3.Число этажей _____

Высота первого этажа от пола до пола _____ м;

Высота типового этажа от пола до пола _____ м;

Высота последнего этажа от пола до пола _____ м;

Высота подвала от пола до потолка _____ м;

Высота технического подполья от пола до потолка _____ м.

Расположение отапливаемого подвала и неотапливаемого технического подполья указано на чертеже.

1.4.Главный фасад здания ориентирован на _____

2.Характеристика ограждающих конструкций

Наименование ограждения	Номер варианта	Примечание
Наружные стены (вариант по Приложению 2)		
Чердачное перекрытие (бесчердачное) покрытие (варианты по Приложению 3)		
Пол первого этажа над техническим подпольем (вариант по Приложению 3)		
Междуэтажные перекрытия (вариант по Приложению 3)		
Внутренние стены		
Пол в отапливаемом подвале		
Стены в отапливаемом подвале		
Кровля		
Окна		
Входные двери в здание		

РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

1. Дать климатическую характеристику района строительства. Определяется:

- средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;
- средняя температура наиболее холодных суток с обеспеченностью 0,98 и 0,92;
- средняя за сутки температура наружного воздуха, определяющая начало и конец отопительного периода (в зависимости от функционального назначения здания);
- средняя температура отопительного периода;
- продолжительность отопительного периода;

- зона влажности района строительства.
- расчетная скорость ветра для холодного периода года;
- средняя скорость ветра за период со средней суточной температурой воздуха $+8^{\circ}\text{C}$;
- средняя месячная (по месяцам) температура наружного воздуха;
- среднегодовая температура наружного воздуха;
- средняя упругость водяного пара в наружном воздухе по месяцам;
- расчетная температура наружного воздуха для теплого периода года:
по параметрам А;
по параметрам Б;
- расчетная скорость ветра для теплого периода года;
- средняя суточная амплитуда температуры наиболее теплого месяца года;
- удельная энтальпия воздуха для теплого периода года;
по параметрам А;
по параметрам Б;
- барометрическое давление.

2. Провести теплотехнический расчет наружных ограждений

2.1. Для наружной стены здания:

2.1.1. Определить значения требуемого сопротивления теплопередаче, исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий - по формуле (3) и из условий энергосбережения по таблице 4 СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». Рассчитать требуемое приведенное сопротивление теплопередаче с учетом коэффициента теплотехнической однородности конструкции и толщину теплоизоляционного слоя конструкции. Рассчитать фактическое приведенное сопротивление теплопередаче и коэффициент теплопередачи.

2.1.2. Определить температуру на поверхностях стены, на стыках слоев и в середине слоя утеплителя при температуре наружного воздуха, равной температуре наиболее холодной пятидневки.

2.1.3. Рассчитать температуру внутренней поверхности в наружном углу, сопоставить ее с температурой точки росы и предусмотреть меры, обеспечивающие невозможность конденсации водяного пара на внутренней поверхности в углах здания.

2.1.4. Рассчитать общее сопротивление паропроницанию. Определить плотность потока водяного пара через стену при средних за самый холодный месяц температуре и парциальном давлении водяного пара в наружном воздухе. Графически определить зону возможной конденсации водяного пара в толще стены. Выполнить расчет на ЭВМ требуемых в соответствии со СНиП 23-02-2003 сопротивлений паропроницанию от внутренней среды до плоскости возможной конденсации и сравнить фактическое сопротивление паропроницанию в этой части стены с ними. Наметить меры, по обеспечению выполнения требований СНиП.

2.1.5. Выполнить на ЭВМ расчет изменения температуры внутренней поверхности наружной стены после отключения системы отопления в помещении при температуре наружного воздуха, равной расчетной, принимая тепловой поток на внутренней поверхности ограждения после прекращения отопления равным нулю. Установить продолжительность времени, в течение которого температура внутренней поверхности стены упадет до 0°C .

2.2. Для остальных наружных ограждений здания:

2.2.1. Рассчитать сопротивление теплопередаче, а также коэффициенты теплопередачи чердачного перекрытия, бесчердачного покрытия и перекрытия над неотапливаемым подвалом (техническим подпольем), исходя из условия $R_0^{\text{ф}} > R_0^{\text{тп}}$. Определить по п.9.1.7 СП 23-101-2004 приведенное термическое

сопротивление многпустотной панели перекрытия (чердачного или над неотапливаемым подвалом по указанию преподавателя).

2.2.2. Определить требуемое сопротивление теплопередаче заполнения светового проема и наружной двери, выбрать конструкцию окна и наружной двери с сопротивлением теплопередаче, больше требуемого.

Рассчитать требуемое сопротивление воздухопроницанию окон. Принять к установке окна с фактическим сопротивлением воздухопроницанию при разности давлений по обе стороны окна $\Delta P = 10$ Па не меньше требуемого.

2.2.3. Определить фактические коэффициенты теплопередачи окон, наружных дверей и наружных стен, чердачных (бесчердачных) перекрытий, перекрытий над неотапливаемым подвалом (техническим подпольем), полов по грунту.

3. Рассчитать теплопотери и тепловой режим помещения

3.1. Определить расчетные теплопотери заданного помещения.

3.2. Рассчитать температуру, необходимую для компенсации теплопотерь помещения (п.3.1.), нагретой потолочной панели, расположенной по всей площади потолка.

Проверить при этом соответствие температурных условий в помещении первому и второму условиям комфортности.

3.3. Выполнить расчет на ЭВМ лучисто-конвективного обмена в помещении для стационарных расчетных условий при поддержании одинаковой температуры помещения различными системами отопления: радиаторной, конвекторной, воздушной, панельной потолочной и панельной напольной. Нанести на разрезы помещения (Бланк для заполнения в Приложении 4) по окну температуры внутренних поверхностей всех ограждений, попавших в разрез. Объяснить полученные результаты расчета на ЭВМ:

- почему в разных расчетных вариантах при одной и той же температуре помещения различны температуры внутреннего воздуха и радиационные температуры;
 - почему температура внутренней поверхности наружных стен ниже, чем у внутренних ограждений;
 - почему температура на внутренней поверхности окна ниже, чем у наружной стены;
 - почему разные внутренние ограждения имеют различную температуру внутренней поверхности;
 - почему для поддержания одной и той же температуры помещения потолочная панель должна иметь температуру поверхности выше, чем напольная;
 - почему теплопотери помещения для разных расчетных вариантов различны;
- Сравнить показатели теплового комфорта в помещениях при разных вариантах отопления.

3.4. Рассчитать амплитуду колебания температуры помещения в период отопления "пропусками" при температуре наружного воздуха $+5^{\circ}\text{C}$, если продолжительность натопа $m = \text{_____ ч}$ и продолжительность перерыва между натопами $n = \text{_____ ч}$. Предварительно определить:

- коэффициенты теплоусвоения внутренних поверхностей всех ограждений помещения при периоде колебания $T = m + n$ ч;

- теплоотдачу отопительного прибора помещения при температуре наружного воздуха $+5^{\circ}\text{C}$ пропорционально разностям температуры внутреннего и наружного воздуха в при $t_n = 5^{\circ}\text{C}$ и при расчетной наружной температуре и с учетом продолжительности натопа и перерыва в отоплении.

ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

В данном разделе ссылки в скобках даны на пункты "Расчетной части работы" настоящего задания.

1. Вычертить кривую распределения температуры в поперечном сечении наружной стены (п.2.1.2.), выполненном в масштабе 1:5.

2. Вычертить кривые парциального давления водяного пара в поперечном сечении стены в масштабе 1:5 (п.2.1.5.) с обозначением зоны возможной конденсации водяного пара.

3. На 5-ти разрезах помещения (п.2.3.), соответствующих 5-ти вариантам отопительных систем, указать температуру всех попавших в разрез (по наружной стене и окну) ограждений, и коэффициенты конвективного и лучистого теплообмена на этих ограждениях.

ТРУДОЕМКОСТЬ ОТДЕЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ В ОБЩЕМ ОБЪЕМЕ РАБОТЫ В %:

Теплотехнические расчеты ограждений.....60

Расчет теплового режима помещения.....30

Графическая часть работы.....10

Приложение 1

Варианты наименований городов

№ варианта	Наименование города	№ варианта	Наименование города	№ варианта	Наименование города
1	Архангельск	14	Краснодар	27	Рязань
2	Астрахань	15	Красноярск	28	Самара
3.	Белгород	16.	Курск	29.	Санкт-Петербург
4	Брянск	17	Москва	30	Саратов
5	Владимир	18	Нижний Новгород	31	Тамбов
6	Воронеж	19	Новосибирск	32	Тверь
7	Екатеринбург	20	Омск	33	Томск
8	Иваново	21	Оренбург	34	Тула
9	Иркутск	22	Орел	35	Тюмень
10	Калининград	23	Пенза	36	Уфа
11	Калуга	24	Пермь	37	Хабаровск
12	Кемерово	25	Псков	38	Челябинск
13	Кострома	26	Ростов-на-Дону	39	Чита

Приложение 2

Конструкция наружной стены

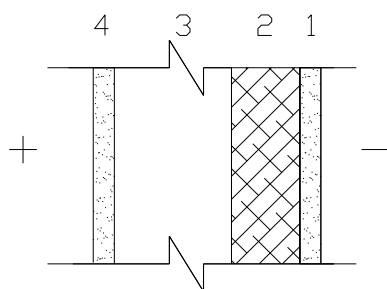


Рис.1 Сечение наружной стены:

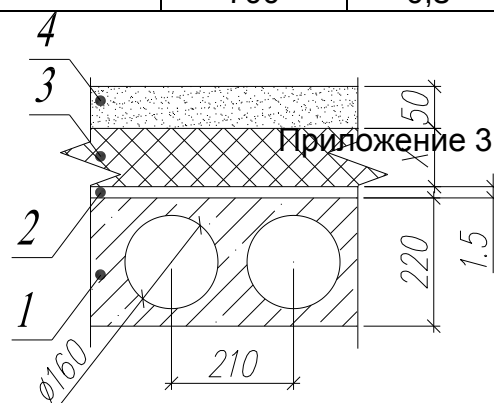
1 – наружная штукатурка, сложный раствор (песок, известь, песок) $\rho=1700 \text{ кг/м}^3$, $\delta=0,02 \text{ м}$. 4 – внутренняя штукатурка – цементно-песчаный раствор $\rho=1800 \text{ м}^3/\text{ч}$; $\delta=0,02 \text{ м}$.

Варианты материалов и толщин слоев 2 и 3

№	Слой 2	Слой 3
---	--------	--------

варианта	Наименование материала (утеплителя)	Плотность ρ , кг/м ³	Наименование материала (конструкционного слоя)	Плотность ρ , кг/м ³	Толщина δ , м
1	Минераловатные плиты	30	Кладка из обыкновенного глиняного кирпича	1800	0,25
2		50		1800	0,25
3		100		1800	0,25
4		150		1800	0,25
5		180		1800	0,25
6	Плиты пенополистирола	18		1800	0,25
7		24		1800	0,25
8		40		1800	0,25
9	Плиты экструдированного пенополистирола	25		1800	0,25
10		35		1800	0,25
11		45		1800	0,25
12	Минераловатные плиты	30	Кладка из ячеистобетонных блоков	700	0,2
13		50		880	0,2
14		100		1060	0,2
15		150		700	0,2
16		180		880	0,2
17	Плиты пенополистирола	18		1060	0,2
18		24		700	0,2
19		40		880	0,2
20	Плиты экструдированного пенополистирола	25		1060	0,2
21		35		700	0,2
22		45		880	0,2
23	Минераловатные плиты	30		1060	0,3
24		50		700	0,3
25		100		880	0,3
26		150		1060	0,3
27		180		700	0,3
28	Плиты пенополистирола	18		880	0,3
29		24		1060	0,3
30		40		700	0,3
31	Плиты экструдированного пенополистирола	25		880	0,3
32		35		1060	0,3
33		45		700	0,3

Чердачное перекрытие



Приложение 3

Бесчердачное покрытие

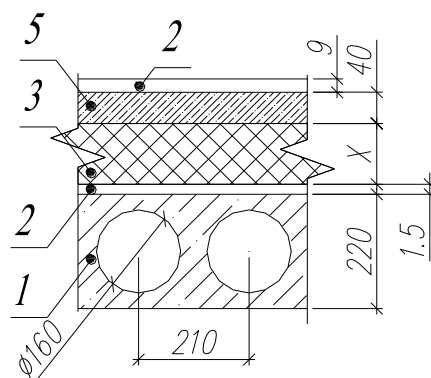
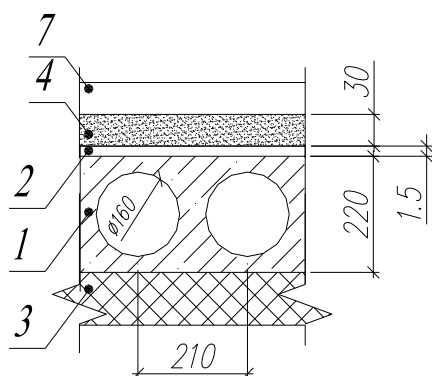


Рис. 2 . Сечения чердачного перекрытия и бесчердачного покрытия
1– железобетонная сплошная или пустотная панель $\rho=2500 \text{ кг/м}^3$; 2– рубероид; 3– слой теплоизоляции; 4– армированный бетонный пол чердака $\rho=2500 \text{ кг/м}^3$; 5– цементно-песчаная стяжка $\rho=1800 \text{ кг/м}^3$.

Перекрытие над неотапливаемым подвалом (техническим подпольем)



Междуэтажное перекрытие

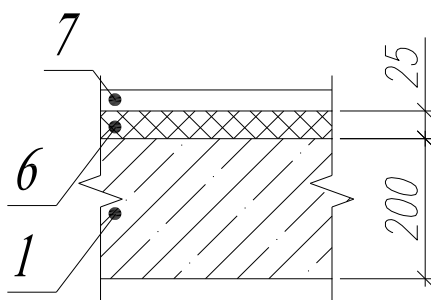


Рис. 4. Сечение по перекрытию над неотапливаемым подвалом и междуэтажному перекрытию

1– железобетонная сплошная или пустотная панель $\rho=2500 \text{ кг/м}^3$; 2– рубероид; 3– слой теплоизоляции; 6– древесно-стружечная плита $\rho=400 \text{ кг/м}^3$; 7– чистый пол (принять в зависимости от назначения помещения паркет из дуба, сосновые доски, линолеум или керамическую плитку)

Варианты материалов слоя 3 утеплителя

Вариант	В чердачном перекрытии и бесчердачном покрытии	В перекрытии над неотапливаемым подвалом	Вариант	В чердачном перекрытии и бесчердачном покрытии	В перекрытии над неотапливаемым подвалом
	Плиты минераловатные			Плиты экструдированного пенополистирла	
	Плотность ρ , кг/м ³	Плотность ρ , кг/м ³		Плотность ρ , кг/м ³	Плотность ρ , кг/м ³
1	135	160	4	45	25
2	160	145	5	25	35
3	190	100	6	35	45

БЛАНК ДЛЯ ЗАПОЛНЕНИЯ

результатами расчета стационарного теплового режима помещения №

Воздушная с.о. $Q_{Т.л.} =$

$t_{HC} =$	$t_{ПТ} =$
$\alpha_{K,HC} =$	$\alpha_{K,ПТ} =$
$\alpha_{Л,HC} =$	$\alpha_{Л,ПТ} =$
	$t_B =$
	$t_R =$
$t_{OK} =$	$t_{BC} =$
$\alpha_{K,OK} =$	$\alpha_{K,BC} =$
$\alpha_{Л,OK} =$	$\alpha_{Л,BC} =$
	$t_{ПЛ} =$
$\alpha_{K,ПЛ} =$	$\alpha_{Л,ПЛ} =$

Условные обозначения:

$\alpha_{Л}, \alpha_{K}$ - коэффициенты лучистого и конвективного теплообмена, на поверхностях, Вт/(м²·°C);

$Q_{Т.П.}$ - теплотери помещения за счет теплопередачи, Вт;

t_B, t_R - температуры воздуха и радиационной в помещении, °C;

$t_{ПТ}, t_{ПЛ}, t_{HC}, t_{BC}, t_{OK}$ - температура внутренних поверхностей потолка, пола, наружной сены, внутренней стены, окна, °C;

с.о. – система отопления.

Конвекторная с.о. $Q_{Т.П.} =$

$t_{HC} =$	$t_{ПТ} =$
$\alpha_{K,HC} =$	$\alpha_{K,ПТ} =$
$\alpha_{Л,HC} =$	$\alpha_{Л,ПТ} =$
	$t_B =$
	$t_R =$
$t_{OK} =$	$t_{BC} =$
$\alpha_{K,OK} =$	$\alpha_{K,BC} =$
$\alpha_{Л,OK} =$	$\alpha_{Л,BC} =$
	$t_{ПЛ} =$
$\alpha_{K,ПЛ} =$	$\alpha_{Л,ПЛ} =$

Радиаторная с.о. $Q_{Т.П.} =$

$t_{HC} =$	$t_{ПТ} =$
$\alpha_{K,HC} =$	$\alpha_{K,ПТ} =$
$\alpha_{Л,HC} =$	$\alpha_{Л,ПТ} =$
	$t_B =$
	$t_R =$
$t_{OK} =$	$t_{BC} =$
$\alpha_{K,OK} =$	$\alpha_{K,BC} =$
$\alpha_{Л,OK} =$	$\alpha_{Л,BC} =$
	$t_{ПЛ} =$
$\alpha_{K,ПЛ} =$	$\alpha_{Л,ПЛ} =$

Панельная потолочная с.о. $Q_{Т.П.} =$

$t_{HC} =$	$t_{ПТ} =$
$\alpha_{K,HC} =$	$\alpha_{K,ПТ} =$
$\alpha_{Л,HC} =$	$\alpha_{Л,ПТ} =$
	$t_B =$
	$t_R =$
$t_{OK} =$	$t_{BC} =$
$\alpha_{K,OK} =$	$\alpha_{K,BC} =$
$\alpha_{Л,OK} =$	$\alpha_{Л,BC} =$
	$t_{ПЛ} =$
$\alpha_{K,ПЛ} =$	$\alpha_{Л,ПЛ} =$

Панельная напольная с.о. $Q_{Т.П.} =$

$t_{HC} =$	$t_{ПТ} =$
$\alpha_{K,HC} =$	$\alpha_{K,ПТ} =$
$\alpha_{Л,HC} =$	$\alpha_{Л,ПТ} =$
	$t_B =$
	$t_R =$
$t_{OK} =$	$t_{BC} =$
$\alpha_{K,OK} =$	$\alpha_{K,BC} =$
$\alpha_{Л,OK} =$	$\alpha_{Л,BC} =$
	$t_{ПЛ} =$
$\alpha_{K,ПЛ} =$	$\alpha_{Л,ПЛ} =$

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ И РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЗДАНИЯ

Учебное пособие к выполнению

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	92
1. Расчетные наружные и внутренние условия	93
1.1. Климатическая характеристика района строительства	93
1.2. Характеристики внутреннего микроклимата административного здания для расчета сопротивления теплопередаче ограждений	94
2. Требуемые сопротивления теплопередаче	95
2.1. Требуемое сопротивление теплопередаче исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий	95
2.2. Требуемое сопротивление теплопередаче исходя из энергосбережения в течение отопительного сезона	96
2.3. Требуемые сопротивления теплопередаче наружных ограждений, принятые для проектирования	96
3. Приведенное сопротивление теплопередаче наружного ограждения	96
3.1. Приведенное сопротивление теплопередаче непрозрачной неоднородной ограждающей конструкции	96
3.2. Выбор заполнения светопроема	99
4. Приведенное сопротивление теплопередаче неоднородного ограждения с участками двумерного температурного поля	101
4.1. Расчет приведенного сопротивления пустотной панели	101
4.2. Приведенные сопротивления теплопередаче и коэффициенты теплопередачи наружных ограждений, принятые для проекта	103
5. Влажностный режим неоднородного многослойного ограждения	104
5.1. Проверка возможности конденсации водяных паров на внутренней поверхности глади наружной стены и в наружном углу, а также в толще наружной стены	104
5.2. Расчет на ЭВМ требуемых сопротивлений паропрооницанию ограждения	108
6. Теплотери помещения	113
6.1. Расчет теплотерь помещения за счет теплопередачи через наружные ограждения	113
6.2. Потребность в теплоте на нагревание инфильтрационного воздуха	115
7. Нестационарный тепловой режим наружного ограждения и помещения	117
7.1. Нестационарный тепловой режим помещения	117
7.2. Расчет на ЭВМ нестационарного теплового режима наружной стены по программе HTS	120
8. Расчет теплового режима помещения	122
8.1. Определение температуры потолочной панели отопления	122
8.2. Расчет на ЭВМ теплотерь помещения при различных системах отопления	124
9. Проверка выполнения условий комфортности	135
9.1. Первое условие комфортности	135
9.2. Второе условие комфортности	136
Список литературы	136
Приложение 1. КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ ГОРОДОВ РФ	138
Приложение 2. ЗОНЫ ВЛАЖНОСТИ ТЕРРИТОРИИ РФ	141

Приложение 3. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ	142
Приложение 4. ПАРАМЕТРЫ МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЙ	142
Таблица П4-1. Оптимальные и допустимые значения параметров внутреннего микроклимата жилых зданий	142
Таблица П4-2. Оптимальные и допустимые значения параметров внутреннего микроклимата общественных	143
Приложение 5. ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ ПОМЕЩЕНИЙ	144
Приложение 6. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛОЖЕНИЯ ОГРАЖДЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО НАРУЖНОГО ВОЗДУХА	144
Приложение 7. НОРМИРУЕМЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ПЕРЕПАД МЕЖДУ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВНУТРЕННЕГО ВОЗДУХА И ТЕМПЕРАТУРОЙ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ	145
Приложение 8. КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ	145
Приложение 9. НОРМИРУЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ	145
Приложение 10. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ	146
Приложение 11. РАСЧЕТНЫЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	146
Приложение 12. КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА	146
Приложение 13. ПРИВЕДЕННОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОКОН	148
Приложение 14. НОРМИРУЕМАЯ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ	149
Приложение 15. ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЗАМКНУТЫХ ВОЗДУШНЫХ ПРОСЛОЕК	150
Приложение 16. ЗНАЧЕНИЯ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОГО ВОДЯНОГО ПАРА e , Па, ПРИ БАРОМЕТРИЧЕСКОМ ДАВЛЕНИИ 100,7 кПа	150
Приложение 17. ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОЕ ПРИРАЩЕНИЕ РАСЧЕТНОГО МАССОВОГО ОТНОШЕНИЯ ВЛАГИ В МАТЕРИАЛЕ Δw , %	151
Приложение 18. СОПРОТИВЛЕНИЕ ПАРОПРОНИЦАНИЮ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТОНКИХ СЛОЕВ ПАРОИЗОЛЯЦИИ [4]	151
Приложение 19. ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ $K_{дин}$, С ПОМОЩЬЮ КОТОРЫХ УЧИТЫВАЮТ ИЗМЕНЕНИЕ ВЕТРОВОГО ДАВЛЕНИЯ ОТ ВЫСОТЫ ЗДАНИЯ	152
Приложение 20. МАКСИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРЕРЫВИСТОСТИ	152
Приложение 21. КОЭФФИЦИЕНТЫ ОБЛУЧЕННОСТИ С ПОВЕРХНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТЬ	153
Рис. П21-1 Коэффициент облученности с одной прямоугольной плоской поверхности на другую при перпендикулярном их расположении	153
Рис. П 21-2. Коэффициент облученности с одной прямоугольной плоской поверхности на другую при параллельном их расположении	154
Приложение 22. КОЭФФИЦИЕНТЫ ОБЛУЧЕННОСТИ С ЧЕЛОВЕКА НА СТЕНУ	155

Приложение 23. КОЭФФИЦИЕНТЫ ОБЛУЧЕННОСТИ С ЧЕЛОВЕКА НА ПОТОЛОК	156
Приложение 24. КОЭФФИЦИЕНТЫ ОБЛУЧЕННОСТИ С ЧЕЛОВЕКА НА ПОЛ ПРИ РАЗНЫХ СООТНОШЕНИЯХ РАЗМЕРОВ ПОЛА	157
Приложение 25. КОЭФФИЦИЕНТЫ ОБЛУЧЕННОСТИ С ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ПЛОЩАДКИ НА ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ ЕЙ ПРЯМОУГОЛЬНУЮ ПЛОСКОСТЬ	157

Введение

Учебное пособие к выполнению курсовой работы и дипломного проекта **“Теплотехнический расчет наружных ограждений и расчет теплового режима здания”** по курсу «Строительная теплофизика» составлены в соответствии с программой курса для студентов факультета «Теплогазоснабжение и вентиляция» (ТГВ). Курсовая работа является частью комплексного проекта "Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха и холодоснабжение гражданского здания".

Теплотехнический расчет наружных ограждений является важным этапом проектирования отопления здания. Для определения его тепловой мощности необходимо знать теплотери здания в самую суровую расчетную часть холодного периода года. Теплотери нельзя рассчитать, не зная расчетных внутренних условий, климатической характеристики района строительства, теплозащитных качеств ограждений, коэффициентов теплообмена на их поверхностях. Поэтому в Пособии большое внимание уделено этим вопросам.

Любое строительное проектирование требует знания не только фундаментальной базы процессов, лежащих в основе проектируемых элементов здания и инженерных систем, его обслуживающих, но и действующих норм. В связи с обострившейся проблемой энергосбережения резко ужесточились нормы теплозащиты, сменился подход к выбору внутренних условий для теплотехнического расчета ограждающих конструкций. Удовлетворение повысившихся требований к теплозащите зданий стало возможным только за счет многослойности ограждений, что усложнило их конструкцию и потребовало учета неоднородности теплового потока, проходящего сквозь ограждение.

Для расширения инженерного кругозора в учебном пособии студентам предложено выполнить расчет трех задач на ЭВМ по программам, снабженным современными интерфейсами ввода и вывода информации, и сделать анализ полученных результатов. Эти задачи касаются расчета влажностного режима ограждения, нестационарного теплового режима ограждения при аварийном отключении отопления и расчета теплового режима помещения при отоплении пятью различными видами систем (воздушной, конвекторной, радиаторной, лучистой потолочной и лучистой напольной). В учебном пособии приведены развернутые физико-математические постановки перечисленных задач и инструкции по применению программ для ЭВМ.

В пособии в сжатой форме систематизирован основной материал, требующийся для выполнения курсовой работы, а также приведены необходимые нормативные и справочные сведения. Последовательность изложения материала в пособии соответствует последовательности выполнения курсовой работы и ведется в форме сквозного примера, в процессе которого даются методические указания по выполнению отдельных пунктов. Необходимо также использовать рекомендуемую литературу и консультации преподавателей.

Пример расчета выполняется для следующих условий:

- район строительства - город Нижний Новгород (бывш. Горький);

- наименование объекта - административное здание, которое имеет три этажа, подвал и неотапливаемое техническое подполье;

1. Расчетные наружные и внутренние условия

1.1. Климатическая характеристика района строительства

По [1] где, в алфавитном порядке расположены областные и краевые центры, а все остальные пункты внутри области или края, определяются:

1. средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 – $t_{5}^{0,92} = -31^{\circ}\text{C}$, (Приложение 1);
2. средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92 – $t_{1}^{0,92} = -34^{\circ}\text{C}$ и обеспеченностью 0,98 – $t_{1}^{0,98} = -38^{\circ}\text{C}$, ([1] табл. 1);
3. средняя за сутки температура наружного воздуха, определяющая начало и конец отопительного периода, принимается в соответствии с п. 5.3 СНиП 23-02 - 2003 для лечебно-профилактических, детских дошкольных учреждений и домов-интернатов для престарелых равной $+10^{\circ}\text{C}$, для всех остальных зданий $+8^{\circ}\text{C}$. Так как проектируется административное здание, отопительный период принимается, как период со средней суточной температурой наружного воздуха $+8^{\circ}\text{C}$ и менее.
4. средняя температура отопительного периода $t_{0,п} = -4,1^{\circ}\text{C}$, (Приложение 1);
5. продолжительность отопительного периода – $z_{0,п} = 215$ суток, (Приложение 1.);
6. зона влажности г. Нижний Новгород: 2 - нормальная, (Приложение 2.).
7. расчетная скорость ветра для холодного периода, как максимальная из средних скоростей по румбам за январь, повторяемость которой не ниже 16% – $v_H = 5,1$ м/с, (Приложение 1.);
8. средняя скорость ветра за период со средней суточной температурой воздуха $+8^{\circ}\text{C}$ и ниже $v = 3,7$ м/с, (Приложение 1.);
9. средняя температура каждого месяца и года, $^{\circ}\text{C}$, (Приложение 1.) вписана в табл.1:

Таблица 1

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
$t_H, ^{\circ}\text{C}$	-11,8	-11,1	-5,0	4,2	12,0	16,4	18,4	16,9	11,0	3,6	-2,8	-8,9	3,6

10. среднемесячное и годовое парциальное давление водяного пара, гПа, (Приложение 1.) занесено в табл. 2:

Таблица 2

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
упругость в.п., гПа	2,5	2,5	3,6	6,0	8,7	12,0	14,8	13,7	10,1	6,6	4,5	3,2	7,3

Среднее за самый холодный месяц года (январь) парциальное давление водяного пара:

$$e_{H,1} = 2,5 \text{ гПа} = 250 \text{ Па} = 0,25 \text{ кПа};$$

11. расчетная температура наружного воздуха для теплого периода года, (Приложение 1.);

- по параметрам А – $t_{A,T} = 22,4^{\circ}\text{C}$ – температура воздуха обеспеченностью 0,95;

- по параметрам Б – $t_{B,T} = 26,2^{\circ}\text{C}$ – температура воздуха обеспеченностью 0,99;

12. средняя суточная амплитуда температуры наиболее теплого месяца: $A_T = 9,3^{\circ}\text{C}$, (Приложение 1.);

- 13.** расчетная скорость ветра для теплого периода года $v = 0$ м/с – минимальная из средних скоростей ветра за июль; принимаем $v = 1$ м/с (Приложение 1.) в соответствии с указаниями [1] граф. 5 табл. 6;
- 14.** расчетная удельная энтальпия воздуха для теплого периода года
- по параметрам А - $I_{A,T} = 51,1$ кДж/кг (Приложение 1.);
 - по параметрам Б - $I_{B,T} = 54,9$ кДж/кг (Приложение 1.);
- 15.** расчетное барометрическое давление $P = 995$ гПа , (Приложение 1.).

1.2. Характеристики внутреннего микроклимата

Для расчета сопротивления теплопередаче ограждений административного здания определяются:

- категория помещения по классификации ГОСТ 30494-96 [3] – категория 2, (Приложение 3.);
- расчетная температура внутреннего воздуха для выбора наружных ограждений - $t_B = 19^\circ\text{C}$ – как минимальное значение оптимального диапазона температуры по ГОСТ 30494-96 для помещений категории 2, (Приложение 4 табл.П4-2);
- расчетная влажность внутреннего воздуха $\phi_B = 50\%$, (по примечанию к п. 5.9 [2], в соответствии с которым относительная влажность в теплотехнических расчетах следует принимать: для помещений жилых зданий, больничных учреждений, диспансеров, амбулаторно-поликлинических учреждений, родильных домов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских дошкольных учреждений и детских домов – 55%, для помещений кухонь – 60%, для ванных комнат – 65%, для подвалов с разводкой коммуникаций – 75%, для «теплых» чердаков жилых зданий – 55%; для помещений общественных зданий (кроме вышеперечисленных) – 50%);
- влажностный режим помещения – сухой (Приложение 5).

2. Требуемые сопротивления теплопередаче

2.1. Требуемое сопротивление теплопередаче исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий в расчетный холодный период определяется по формуле (3) [2]:

$$R_{o.}^{TP} = \frac{n(t_B - t_H)}{\Delta t_H \cdot \alpha_B}, \quad (1)$$

где n – коэффициент положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху, (Приложение 6). В проектируемом здании для наружных стен $n = 1$, для покрытия $n = 1$, для чердачного перекрытия с рулонной кровлей $n = 0,9$; для перекрытия над неотапливаемым подвалом без окон $n = 0,6$.

t_H - расчетная зимняя температура наружного воздуха, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки $t_5^{0,92}$;

Δt_H - нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, (Приложение 7). Для административных зданий по строке 2: наружных стен - $4,5^\circ\text{C}$; покрытий и чердачных перекрытий $4,0^\circ\text{C}$; перекрытий над неотапливаемыми подвалами $2,5^\circ\text{C}$;

α_B - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения, (Приложение 8). Для стен, полов и гладких потолков равен $8,7 \text{ Вт}/(\text{°C} \cdot \text{м}^2)$.

- для наружной стены $R_o^{TP} = \frac{(19 + 31)}{4,5 \cdot 8,7} = 1,28 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$

- для покрытия под рулонной кровлей $R_o^{TP} = \frac{(19 + 31)}{4,0 \cdot 8,7} = 1,44 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$

- для чердачного перекрытия $R_o^{TP} = \frac{0,9 \cdot (19 + 31)}{4,0 \cdot 8,7} = 1,29 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$

- для перекрытия над неотапливаемым подпольем без окон
 $R_o^{TP} = \frac{0,6 \cdot (19 + 31)}{2,5 \cdot 8,7} = 1,38 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$

- для входных дверей требуемое сопротивление теплопередаче дверей и ворот должно быть не менее $0,6 \cdot R_o^{TP}$ стен зданий ([2] п.5.7.), где требуемое сопротивление теплопередаче наружной стены R_o^{TP} определено по формуле (1):

$$R_o^{TP} = 0,6 \cdot 1,28 = 0,77 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

2.2. Требуемое сопротивление теплопередаче исходя из энергосбережения в течение отопительного периода определяются по (Приложение 9) для :

- функционального назначения здания – общественного, относящегося к категории 2 (Приложение 3);
- числа градусосутков отопительного периода, равного

$$D_d = (t_B - t_{o.п.}) \cdot z_{o.п.} = (19 + 4,1) \cdot 215 = 4967 \text{ °C} \cdot \text{сут}. \quad (2)$$

С учетом интерполяции по числу градусосутков, требуемое сопротивление теплопередаче:

- для наружных стен $R_o^{TP} = 2,4 + (3 - 2,4) \cdot (4967 - 4000)/2000 = 2,69 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$

- для бесчердачных покрытий $R_o^{TP} = 3,2 + (4 - 3,2) \cdot (4967 - 4000)/2000 = 3,59 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$

- для чердачных перекрытий и перекрытий над холодными подвалами
 $R_o^{TP} = 2,7 + (3,4 - 2,7) \cdot (4967 - 4000)/2000 = 3,04 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$

- для окон $R_o^{TP} = 0,4 + (0,5 - 0,4) \cdot (4967 - 4000)/2000 = 0,45 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$

В соответствии п. 5.11. [2] - при остеклении фасадов жилых зданий более 18%, а общественных зданий более 25% сопротивление теплопередаче окна должно иметь сопротивление теплопередаче:

не менее $0,51 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ при числе градусосутков отопительного периода до $3500 \text{ °C} \cdot \text{сут}$, $0,56 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ при $3500 < D_d \leq 5200 \text{ °C} \cdot \text{сут}$, $0,65 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ при $5200 < D_d \leq 7000 \text{ °C} \cdot \text{сут}$, $0,81 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ при числе градусосутков свыше $7000 \text{ °C} \cdot \text{сут}$.

В проектируемом общественном здании доля остекления фасада менее 25 %, поэтому принимается $R_o^{TP} = 0,45 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$

Для получения значений R_o^{TP} при величинах D_d , отличающихся от табличных, интерполяцию можно выполнять, используя формулу

$$R_o^{TP} = a D_d + b,$$

где a, b – коэффициенты, значения которых принимаются по Приложению 9 для соответствующих групп зданий, за исключением графы 6 для группы зданий 1, где

для интервала до 6000 °С·сут $a=0,000075$, $b=0,15$, для интервала 6000 – 8000 °С·сут $a=0,00005$, $b=0,3$, для интервала свыше 8000 °С·сут $a=0,000025$, $b=0,5$.

2.3. Требуемое сопротивление теплопередаче, принимаемое для проектирования зданий с расчетной температурой внутреннего воздуха выше 12 °С нормируется исходя из энергосбережения.

- для наружных стен $R_0^{TP} = 2,69 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт}$;
- для бесчердачных покрытий $R_0^{TP} = 3,59 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт}$;
- для чердачных перекрытий и перекрытий над холодными подвалами $R_0^{TP} = 3,04 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт}$;
- для окон $R_0^{TP} = 0,45 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт}$;
- для входных дверей $R_0^{TP} = 0,77 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт}$.

Для зданий с температурой внутреннего воздуха $t_v \leq 12 \text{ °С}$, для внутренних ограждений, разделяющих помещения с разной температурой внутреннего воздуха требуемое сопротивление теплопередаче по формуле (1).

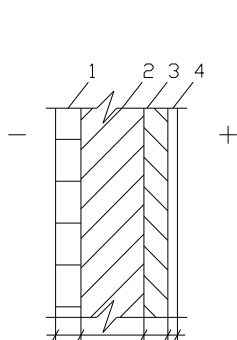
3. Приведенное сопротивление теплопередаче наружного ограждения

3.1 Приведенное сопротивление теплопередаче непрозрачной неоднородной ограждающей конструкции.

Требуется найти толщину утеплителя и определить приведенное сопротивление теплопередаче многослойной наружной стены с внутренними металлическими связями, строительный материал, его плотность и толщина каждого слоя которой указаны в табл.3 (нумерация слоев снаружи внутрь):

Таблица 3

Номер слоя	Материал слоя	Плотность материала γ_0 , кг/м ³	Толщина слоя, м
1.	Кладка из керамического кирпича	1600	0,12
2.	Плиты из минеральной ваты	125	?
3.	Кладка из сплошного глиняного кирпича	1800	0,25
4.	Штукатурка (цементно-песчаный раствор)	1800	0,02



0,5 м – шаг раскладки гибких связей

Район строительства здания относится к нормальной влажностной зоне (п. 1.1). В здании поддерживается сухой влажностный режим. (п. 1.2).

3.1.1. По Приложению 10. определяем, что при сухом влажностном режиме помещения и нормальной зоне влажности района строительства все ограждения объекта находятся в условиях эксплуатации, относящихся к градации А.

3.1.2. По Приложению 11 находим теплотехнические показатели строительных материалов и заносим их в табл. 4:

Рис. 1 Схема сечения наружной стены
(номера слоев соответствуют табл. 3 и 4)

Таблица 4

Материал слоя	Плот-	Толщи	Удельная	Характеристики материалов
---------------	-------	-------	----------	---------------------------

	плотность материала ρ_0 , кг/м ³	толщина слоя δ , м	теплоемкость материала c_0 , кДж/ (кг·°C)	теплопроводность λ_A , Вт/(м·°C)	теплоусвоение S_A , Вт/(м ² ·°C)	паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
1. Кладка из керамического-го пустотного кирпича	1600	0,12	0,88	0,58	7,91	0,14
2. Плиты минераловатные ГОСТ 9573	125	?	0,84	0,064	0,73	0,49
3. Кладка из сплошного глиняного кирпича	1800	0,25	0,88	0,7	9,2	0,11
4. Штукатурка (цементно-песчаный раствор)	1800	0,02	0,84	0,76	9,6	0,09

3.1.3. По п. 6.1.4. [4] допускается приведенное сопротивление теплопередаче определять по формуле:

$$R_o = R_o^{YCL} r, \quad (3)$$

где R_o^{YCL} - сопротивление теплопередаче конструкции без учета теплопроводных включений (связей), м²·°C/Вт;

r - коэффициент теплотехнической однородности, "глади", "глухой" части стен. В рассматриваемом варианте специальным расчетом определено, что $r=0,87$.

Принимая $R_o = R_o^{TP} = 2,69$ м²·°C/Вт (см. п 2.3), получим требуемое условное сопротивление теплопередаче гладистены:

$$R_o^{YCL.TP} = R_o^{TP} / r = 2,69 / 0,87 = 3,09 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}.$$

3.1.4. Определяем требуемое значение сопротивления теплопередаче слоя утеплителя (минераловатных плит):

$$R_{YT}^{TP} = R_o^{YCL.TP} - (R_B + R_1 + R_3 + R_4 + R_H) = R_o^{YCL.TP} - (1/\alpha_H + \delta_1/\lambda_1 + \delta_3/\lambda_3 + \delta_4/\lambda_4 + 1/\alpha_B) =$$

$$= 3,09 - (1/23 + 0,12/0,58 + 0,25/0,7 + 0,02/0,76 + 1/8,7) = 3,09 - 0,749 = 2,341 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}.$$

где α_H - коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности наружной стены, (Приложение 12), $\alpha_H = 23$ Вт/(м²·°C).

3.1.5. Расчетная толщина утеплителя: $\delta_{YT} = R_{YT} \cdot \lambda_{YT} = 2,341 \cdot 0,064 = 0,149$ м. Из конструктивных соображений принимаем толщину утеплителя $\delta_{YT}^\phi = 0,15$ м (кратной 1 см).

3.1.6. Условное сопротивление теплопередаче глади наружной стены:

$$R_o^{YCL} = (R_B + R_1 + R_3 + R_4 + R_H) + R_{YT}^\phi = (1/\alpha_B + \delta_1/\lambda_1 + \delta_3/\lambda_3 + \delta_4/\lambda_4 + 1/\alpha_H) + \delta_{YT}^\phi / \lambda_{YT} =$$

$$= 0,749 + 0,15/0,064 = 3,093 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}. \quad (4)$$

Приведенное сопротивление теплопередаче равно:

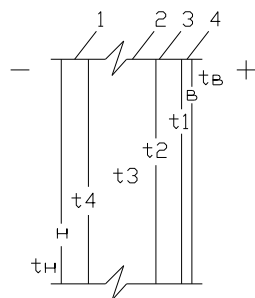
$$R_o^{TP} = R_o^{YCL} \cdot r = 3,093 \cdot 0,87 = 2,69 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$$

3.1.7. Коэффициент теплопередачи стены:

$$K_{H.C.} = 1/R_o^{TP} = 1/2,69 = 0,372 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}). \quad (5)$$

3.1.8. Находим распределение температуры в толще стены и на ее поверхностях при температуре наружного воздуха, равной $t_5^{0,92} = -31^\circ\text{C}$.

Связи практически изменяют сопротивления теплопередаче трех слоев 1,2,3. Однако будем считать, что сопротивление теплопередаче равномерно уменьшается в каждом слое и на поверхностях с коэффициентом пропорциональности, равным коэффициенту теплотехнической однородности $\tau = 0,87$.



Распределение температуры по толщине конструкции определяется по формуле:

$$t_X = t_B - \frac{R_X}{R_o^{ПП}} (t_B - t_H); \quad t_X = t_H + \frac{R_X}{R_o^{ПП}} (t_B - t_H) \quad (6)$$

$$\tau_1 = t_B - \frac{R_B^{VCL} \cdot r}{R_o^{ПП}} (t_B - t_H) = 19 - \frac{1/8,7 \cdot (19 + 31) \cdot 0,87}{2,69} = 17,1^\circ\text{C};$$

Рис.2. Схема обозначения температуры по сечению стены

$$t_1 = t_B - \frac{(R_B^{VCL} + R_4^{VCL}) \cdot r}{R_o^{ПП}} (t_B - t_H) = 19 - \frac{(1/8,7 + 0,02/0,76) \cdot 0,87}{2,69} \cdot 50 = 16,7^\circ\text{C}$$

$$t_2 = t_B - \frac{(R_B^{VCL} + R_4^{VCL} + R_3^{VCL}) \cdot r}{R_o^{ПП}} (t_B - t_H) = 19 - \frac{(1/8,7 + 0,02/0,76 + 0,25/0,7) \cdot 0,87}{2,69} \cdot 50 = 10,94^\circ\text{C};$$

$$t_3 = t_H + \frac{(R_H^{VCL} + R_1^{VCL} + R_2^{VCL}/2) \cdot r}{R_o^{ПП}} (t_B - t_H) = -31 + \frac{[1/23 + 0,12/0,58 + 0,15/(2 \cdot 0,064)] \cdot 0,87}{2,69} \cdot 50 \quad (7)$$

$$= -8,0^\circ\text{C};$$

$$t_4 = t_H + \frac{(R_H^{VCL} + R_1^{VCL}) \cdot r}{R_o^{ПП}} (t_B - t_H) = -31 + \frac{[1/23 + 0,12/0,58] \cdot 0,87}{2,69} \cdot 50 = -26,9^\circ\text{C};$$

$$\tau_H = t_H + \frac{R_H \cdot r}{R_o^{ПП}} (t_B - t_H) = -31 + \frac{1/23 \cdot 0,87}{2,69} \cdot 50 = -30,3^\circ\text{C}$$

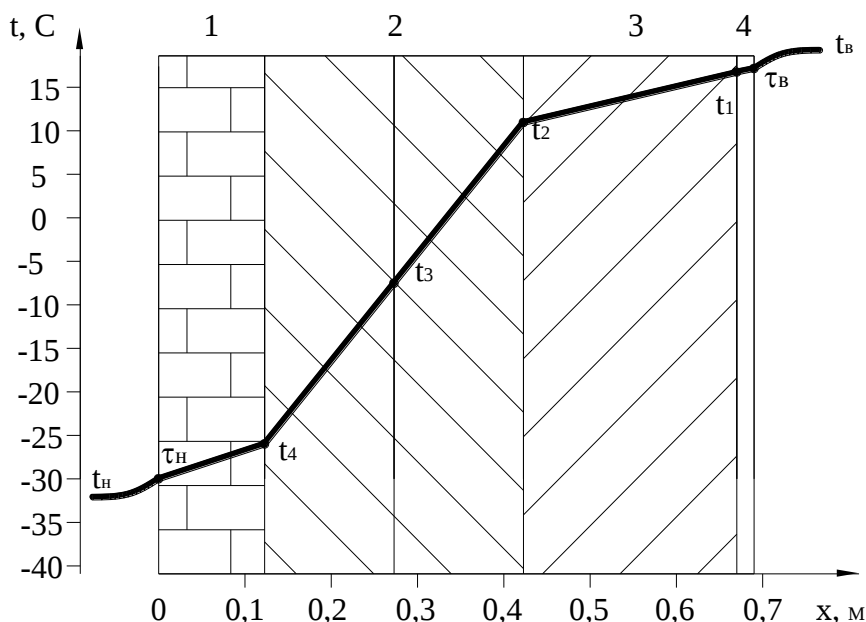


Рис. 3. Распределение температуры по сечению наружной стены

3.1.9. Температура на внутренней поверхности наружного угла определяется по формуле [8]: $\tau_y = t_B - 0,75(R_B \cdot r / R_o^{TP})^{2/3} \cdot (t_B - t_H) = 19 - 0,75(0,115 \cdot 0,87 / 2,69)^{2/3} (19 + 31) = 14,8 \text{ } ^\circ\text{C}$. (8)

Таким образом, значения температуры во всех интересующих сечениях при температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 - $t_5^{0,92} = -31^\circ\text{C}$, найдены. Построим график (рис.3) распределения температуры в сечении стены в М 1:10, по температуре масштаб удобно принять таким, чтобы по вертикали рисунок занимал около 8-15 см. В нашем случае удобно принять в 1см 5 $^\circ\text{C}$.

3.2. Выбор заполнения светопроема. Заказчиком согласованны окна в металлических переплетах. В соответствии с п.1.5 расчетное требуемое сопротивление теплопередаче для окна равно $R_o^{TP} = 0,45 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$.

3.2.1. Для установки в административном здании принимаем по Приложению 13 конструкцию окна с равным требуемому (или ближайшим большим) сопротивлением теплопередаче. Таким является окно из двухкамерного стеклопакета с межстекольным расстоянием 12 мм в алюминиевых переплетах. Приведенное сопротивление выбранного окна $R_o^{TP} = 0,45 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$.

3.2.2. Коэффициент теплопередачи окна $K = 1 / 0,45 = 2,22 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

3.2.3. Определяем ΔP , Па – разность давлений воздуха по обе стороны окна первого этажа о формуле (13) [2]:

$$\Delta P = 0,55H(\gamma_H - \gamma_B) + 0,03\gamma_H v^2, \quad (9)$$

где Н - высота здания от нижней отметки входа в здание до верха вентиляционной шахты; в нашем случае трехэтажного здания с расстоянием от пола I этажа до пола II этажа - 4,2 м и расстоянием от пола II и III этажей до пола вышележащих этажей – соответственно, 3,25 м и 3,35 м, с высотой вентиляционной шахты 3,5 м и отметкой низа входа (земли): -1 м:

$H = 1 + 4,2 + 3,25 + 3,35 + 3,5 = 15,3 \text{ м}$;

γ_H, γ_B - удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, $\text{Н} / \text{м}^3$, определяются в зависимости от наружной и внутренней температур по формуле (14) [2]:

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}; \quad (10)$$

для внутреннего воздуха $\gamma = 3463 / (273 + t_B) = 3463 / (273 + 19) = 11,9 \text{ Н} / \text{м}^3$;

для наружного воздуха $\gamma = 3463 / (273 + t_5^{0,92}) = 3463 / (273 - 31) = 14,3 \text{ Н} / \text{м}^3$;

v-расчетная скорость ветра для холодного периода, как максимальная из средних скоростей по румбам за январь, повторяемость которой не ниже 16%, по п. 1.1 $v = v_H = 5,1 \text{ м/с}$.

$\Delta P = 0,55 \cdot 15,3 \cdot (14,3 - 11,9) + 0,03 \cdot 14,3 \cdot 5,1^2 = 20,2 + 11,2 = 31,4 \text{ Па}$.

3.2.4. Для определения необходимой плотности окна найдем требуемое сопротивление воздухопроницанию (формула (15) [2]):

$$R_{и}^{TP} = \frac{1}{G^H} \left(\frac{\Delta P}{\Delta P_0} \right)^{2/3} \text{ м}^2 \cdot \text{ч} / \text{кг}, \quad (11)$$

где G^H - нормативная воздухопроницаемость окна в алюминиевых переплетах для жилых и общественных зданий, $G^H = 5 \text{ кг/ч} \cdot \text{м}^2$, (Приложение 14);

ΔP_0 - разность давлений воздуха по обе стороны окна, при которой проводятся исследования воздухопроницаемости окон, $\Delta P_0 = 10 \text{ Па}$;

Требуемое сопротивление воздухопроницанию:

$$R_{II}^{TP} = (1/5) \cdot (31,4/10)^{2/3} = 0,429 \text{ м}^2 \cdot \text{ч/кг},$$

3.2.5. Необходимо чтобы фактическое сопротивление воздухопроницанию окна было равно или больше требуемого $R_{II}^{\Phi} \geq R_{II}^{TP}$. Поэтому значение сопротивления воздухопроницанию, которое принимается в качестве установочного - фактического, берется таким, какое оно должно быть. В данном случае принимаем $R_{II}^{\Phi} = 0,44 \text{ м}^2 \cdot \text{ч/кг}$ и требуем от заказчика закупки окон, в которых по сертификату сопротивление воздухопроницанию не меньше требуемого $R_{II}^{\Phi} = 0,44 \text{ м}^2 \cdot \text{ч/кг}$.

4. Приведенное сопротивление теплопередаче неоднородного ограждения с участками двумерного температурного поля

4.1. Расчет термического сопротивления пустотной панели выполняем по [4] п.6.1.8. методом сложения проводимостей. Пример расчета термического сопротивления панели чердачного перекрытия и перекрытия над неотапливаемым подвалом приведен ниже. Размеры панели и пустот в ней представлены на рис. 4.

Расчетная схема:

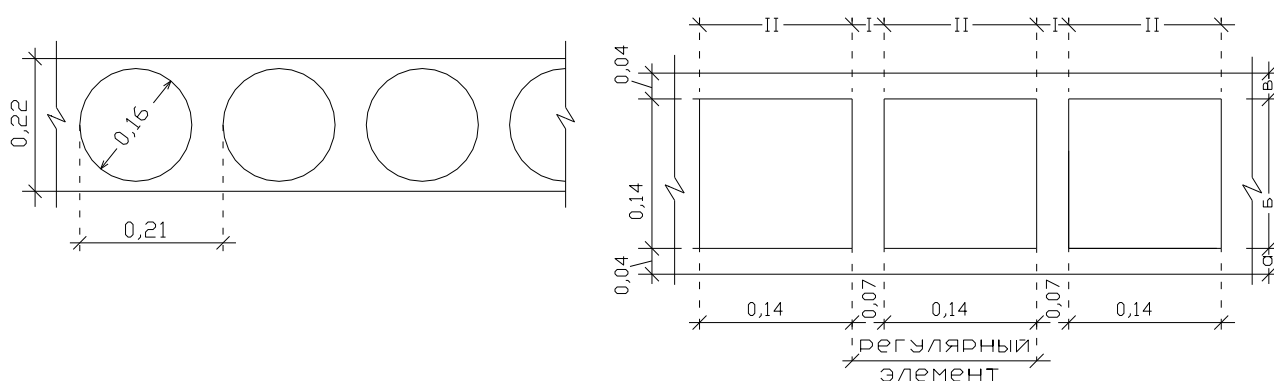


Рис. 4. К расчету пустотной плиты перекрытия. а) разрез по фрагменту плиты; б) расчетная схема плиты с выделенным регулярным элементом

4.1.1. Для простоты расчета принимаем схему сечения плиты с квадратными вместо круглых отверстиями в плите. Сторона эквивалентного по площади квадрата ($A_{\text{КВАДРАТА}} = A_{\text{КРУГА}}$) равна:

$$a = \sqrt{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \sqrt{\frac{3,14 \cdot 0,16^2}{4}} = 0,14 \text{ м}$$

4.1.2. Выделяем регулярный элемент. Делим его плоскостями параллельными тепловому потоку (смотрите на схеме). Получаем два параллельных участка: I и II. Участок I однородный, участок II - неоднородный, состоящий из двух одинаковых по толщине слоев a и b и горизонтальной воздушной прослойки. Сопротивления теплопередаче этих участков равны:

$$R_I = \delta_1 / \lambda_1 = 0,22 / 1,92 = 0,115 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт};$$

$$R_{II} = R_A + R_{\text{ВОЗД.ПР}} + R_B = 2R_A + R_{\text{ВОЗД.ПР}} = 2 \cdot d_A / \lambda_A + R_{\text{ВОЗД.ПР}} = 2 \cdot 0,04 / 1,92 + R_{\text{ВОЗД.ПР}} = 0,04 + R_{\text{ВОЗД.ПР}}$$

Термическое сопротивление воздушной прослойки $R_{\text{ВОЗД.ПР}}$, определяем по Приложению 15. с учетом того, что в панели чердачного перекрытия горизонтальная воздушная прослойка с потоком тепла снизу вверх отделена от холодного чердака слоем утеплителя, поэтому в ней воздух находится при положительной температуре. Для прослойки толщиной 0,14 м в этих условиях $R_{\text{ВОЗД.ПР}} = 0,15 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$; в панели перекрытия над неотапливаемым подвалом, если утеплитель лежит под железобетонной плитой горизонтальная воздушная прослойка с холодного техподполья сверху вниз отделена от теплого помещения слоем утеплителя, поэтому в ней воздух находится при положительной температуре. Для прослойки толщиной 0,14 м в этих условиях $R_{\text{ВОЗД.ПР}} = 0,19 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$.

Для чердачного перекрытия $R_{II} = 0,04 + R_{\text{ВОЗД.ПР}} = 0,04 + 0,15 = 0,19 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$;

Для перекрытия над подвалом $R_{II} = 0,04 + R_{\text{ВОЗД.ПР}} = 0,04 + 0,19 = 0,23 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$.

4.1.3. Сопротивление теплопередаче всего регулярного элемента при разбивке его плоскостями, параллельными тепловому потоку:

-для чердачного перекрытия

$$R_{\text{ПАРАЛЛ.}} = \frac{A_I + A_{II}}{A_I / R_I + A_{II} / R_{II}} = \frac{0,07 + 0,14}{0,07 / 0,115 + 0,14 / 0,19} = 0,155 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}; \quad (12)$$

-для перекрытия над подвалом

$$R_{\text{ПАРАЛЛ.}} = \frac{A_I + A_{II}}{A_I / R_I + A_{II} / R_{II}} = \frac{0,07 + 0,14}{0,07 / 0,115 + 0,14 / 0,23} = 0,173 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт};$$

здесь A_I и A_{II} – площади 1 м подлине I и II участков в регулярном элементе плиты, м^2 .

4.1.4. Делим регулярный элемент плоскостями перпендикулярными тепловому потоку (смотрите на схеме справа). Получаем три параллельных участка: а, б, в. Участки а и в однородные, участок б - неоднородный, состоящий из горизонтальной воздушной прослойки и слоя железобетона шириной I и толщиной

б ($R_{ж/б}=0,14/1,92=0,073 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$). Сопротивления теплопередаче этих участков равны:

$$R_A = R_B = \delta_A / \lambda_A = 0,04/1,92 = 0,02 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

Сопротивление теплопередаче R_B определяем по формуле (6) СНиП:

-для чердачного перекрытия

$$R_B = \frac{A_I + A_{II}}{A_I/R_{ж/б} + A_{II}/R_{возд.пр}} = \frac{0,07 + 0,14}{0,07/0,073 + 0,14/0,15} = 0,111 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

-для перекрытия над подвалом

$$R_B = \frac{A_I + A_{II}}{A_I/R_{ж/б} + A_{II}/R_{возд.пр}} = \frac{0,07 + 0,14}{0,07/0,073 + 0,14/0,19} = 0,124 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

Сопротивление теплопередаче всего регулярного элемента при разбивке его плоскостями, перпендикулярными тепловому потоку:

$$R_{перп} = R_A + R_B + R_B = 2R_A + R_B = 2 \cdot 0,02 + R_B$$

-для чердачного перекрытия $R_{перп} = 2 \cdot 0,02 + 0,111 = 0,151 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$

-для перекрытия над подвалом $R_{перп} = 2 \cdot 0,02 + 0,124 = 0,164 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$

4.1.5. Термическое сопротивление плиты:

$$R = \frac{R_{паралл} + 2R_{перп}}{3} \quad (13)$$

-для чердачного перекрытия

$$R_{плиты} = \frac{0,155 + 2 \cdot 0,151}{3} = 0,152 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

-для перекрытия над подвалом

$$R_{плиты} = \frac{0,173 + 2 \cdot 0,164}{3} = 0,167 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Если величина $R_{паралл}$ превышает величину $R_{перп}$ более чем на 25% или ограждающая конструкция не является плоской, то приведенное термическое сопротивление R_k ограждающей конструкции следует определять расчетом трехмерного температурного поля или экспертно оценивать коэффициент теплотехнической однородности g для расчета по формуле (3).

Полученные термические сопротивления плит перекрытия используются как известные величины при дальнейшем определении толщины теплоизоляции в чердачном перекрытии и перекрытии над неотапливаемым подвалом (техподпольем). Эти расчеты выполняются самостоятельно по примеру, приведенному в п. 3.1.

4.2. Приведенные сопротивления теплопередаче и коэффициенты теплопередачи наружных ограждений, принятые для проекта

Выбор толщины утеплителя и определение приведенного сопротивления теплопередаче чердачного (бесчердачного) перекрытия и перекрытия над

неотапливаемым подвалом (техподпольем) – задание для самостоятельной проработки.

Входная дверь в здание принята с сопротивлением теплопередаче $R_{o,дв}=0,8$

$м^2 \cdot ^\circ C / Вт$: двойная дверь с тамбуром. Сопротивление теплопередаче каждой двери $0,4 м^2 \cdot ^\circ C / Вт$.

В результате проделанных расчетов приняты следующие приведенные сопротивления теплопередаче и коэффициенты теплопередачи наружных ограждений:

:

- для наружных стен $R_{o,ст}^{пр} = 2,69 м^2 \cdot ^\circ C / Вт = R_o^{TP} = 2,69 м^2 \cdot ^\circ C / Вт$; $K_{ст} = 0,372 Вт / (м^2 \cdot ^\circ C)$;

- для бесчердачного покрытия $R_{o,п}^{пр} = 3,75 м^2 \cdot ^\circ C / Вт > R_o^{TP} = 3,59 м^2 \cdot ^\circ C / Вт$; $K_{п} = 1/3,75 = 0,267 Вт / (м^2 \cdot ^\circ C)$;

- для чердачного перекрытия $R_{o,п}^{пр} = 3,05 м^2 \cdot ^\circ C / Вт > R_o^{TP} = 3,04 м^2 \cdot ^\circ C / Вт$; $K_{чп} = 1/3,05 = 0,328 Вт / (м^2 \cdot ^\circ C)$;

- для перекрытия над неотапливаемым подвалом $R_{o,п}^{пр} = 3,08 м^2 \cdot ^\circ C / Вт > R_o^{TP} = 3,04 м^2 \cdot ^\circ C / Вт$; $K_{пп} = 1/3,08 = 0,325 Вт / (м^2 \cdot ^\circ C)$;

- для окон $R_{o,ок}^{пр} = 0,45 м^2 \cdot ^\circ C / Вт \geq R_o^{TP} = 0,45 м^2 \cdot ^\circ C / Вт$; $K_{ок} = 1/0,45 = 2,22 Вт / (м^2 \cdot ^\circ C)$;

- для наружных дверей $R_{o,дв}^{пр} = 0,8 м^2 \cdot ^\circ C / Вт > R_o^{TP} = 0,77 м^2 \cdot ^\circ C / Вт$; $R = K_{дв} = 1/0,8 = 1,25 Вт / (м^2 \cdot ^\circ C)$.

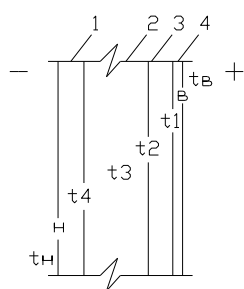
5. Влажностный режим неоднородного многослойного ограждения

5.1. Проверка возможности конденсации водяных паров на внутренней поверхности глади наружной стены и в наружном углу, а также в толще наружной стены. Условием выпадения конденсата является формирование температуры на какой-либо поверхности или в толще ограждения ниже точки росы. Иначе то же самое условие может формулироваться, как получение в расчете парциального давления водяных паров в какой-либо точке ограждения, которое превосходит по величине давление насыщенных водяных паров при той же температуре, чего не может быть. Это свидетельствует о том, что мы имеем дело не с паром, а со сконденсировавшейся водой.

Так как влажностные процессы протекают медленно и не успевают реагировать на короткие изменения температуры наружного воздуха, в качестве расчетного, наиболее опасного периода с точки зрения возможности выпадения конденсата, принимают наиболее холодный месяц года. Расчет выполняют по средним показателям этого месяца. Однако, в связи с тем, что средние за месяц температура и парциальное давление водяных паров усредняются порознь, и относительная влажность в холодный период года довольно высока, часты случаи, когда среднее за месяц парциальное давление водяных паров оказывается выше давления насыщения водяных паров при среднемесячной температуре наружного воздуха. Для устранения физически неприемлемой ситуации в расчет принимается парциальное давление водяных паров, которое не

превышает максимально возможное парциальное давление водяных паров при среднемесячной температуре.

5.1.1. Определяем распределение температуры по сечению стены, схема обозначений которой приведена на рис. 5, при температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодного месяца - января $t_H = t_{я} = -11,8$ °C:



$$t_B = t_B - \frac{R_B \cdot r}{R_0^{ПП}} (t_B - t_H) = 19 - \frac{1/8,7 \cdot 0,87}{2,69} (19 + 11,8) = 17,85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_1 = t_B - \frac{(R_B + R_4) \cdot r}{R_0^{ПП}} (t_B - t_H) = 19 - \frac{(1/8,7 + 0,02/0,76) \cdot 0,87}{2,69} \cdot 30,8 = 17,38 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Рис. 5 . Схема обозначений температуры, принятая в п.5.

$$t_2 = t_B - \frac{(R_B + R_4 + R_3) \cdot r}{R_0^{ПП}} (t_B - t_H) = 19 - \frac{(1/8,7 + 0,02/0,76 + 0,25/0,7) \cdot 0,87}{2,69} \cdot 30,8 =$$

$$= 14,04 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_3 = t_H + \frac{(R_H + R_1 + R_2/2) \cdot r}{R_0^{ПП}} (t_B - t_H) = -11,8 + \frac{[1/23 + 0,12/0,58 + 0,15/(2 \cdot 0,064)] \cdot 0,87}{2,69} \cdot 30,8 =$$

$$= 2,36 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_4 = t_H + \frac{R_B r}{R_0^{ПП}} (t_B - t_H) = -11,8 + \frac{(1/23 + 0,12/0,58) \cdot 0,87}{2,69} = -9,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{н.н} = t_H + \frac{R_H r}{R_0^{ПП}} (t_B - t_H) = -11,8 + \frac{1/23 \cdot 0,87}{2,69} \cdot 30,8 = -11,37 \text{ } ^\circ\text{C}$$

5.1.2. Определяем парциальное давление водяных паров влажного воздуха в состоянии насыщения соответствующее температуре в расчетных сечениях наружной стены, (Приложение 16.): $E_B = 2197$ Па; $E_{в.п} = 2044$ Па; $E_1 = 1985$ Па; $E_2 = 1603$ Па; $E_3 = 725$ Па; $E_4 = 235$ Па; $E_{н.п} = 230$ Па; $E_H = 221$ Па.

5.1.3. Определяем парциальное давление водяных паров в наружном и внутреннем воздухе по формуле:

$$e = E \cdot \varphi \quad (14)$$

где φ - относительная влажность воздуха.

В п. 1.2. определено, что $\varphi_B = 55\%$;

$$\text{Тогда: } e_B = E_B \cdot \varphi_B = 2197 \cdot 0,55 = 1208 \text{ Па};$$

Так как $e_H = 250$ Па (строка 10 п. 1.1) больше максимально возможной величины при средней за январь температуре $-11,8$ °C, расчетную величину парциального давления водяного пара наружного воздуха принимаем равной $e_H = E_H = 221$ Па (см. п. 5.1).

5.1.4. Находим температуру точки росы во внутреннем воздухе. Для этого по Приложению 5.1 определим температуру, при которой найденное парциальное

давление водяных паров $e_B = 1208$ Па является давлением насыщения, то есть при $E = 1208$ Па $t = 9,7$ °С. Таким образом, температура точки росы $t_p = 9,7$ °С. Так как при температуре наиболее холодной пятидневки температура внутренней поверхности наружной стены $t_B = 17,1$ °С (п. 3.1.8) и внутренней поверхности наружного угла $t_y = 14,8$ °С (п.3.1.9) выше, чем $t_p = 9,7$ °С:

$$t_B = 17,1^\circ\text{C} > t_y = 9,7^\circ\text{C}; \quad t_y = 14,8^\circ\text{C} > t_p = 9,7^\circ\text{C},$$

можно быть уверенным в том, что выпадения конденсата на этих поверхностях не будет.

5.1.5. Определяем общее сопротивление паропрооницанию наружной стены по формуле [6, 7] :

$$R_{o,\Pi} = R_{\Pi.B.} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} + R_{\Pi.H.} = 0,0267 + \frac{0,12}{0,14} + \frac{0,15}{0,49} + \frac{0,25}{0,11} + \frac{0,02}{0,09} + 0,0052 = 3,69 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{МГ}}; (15)$$

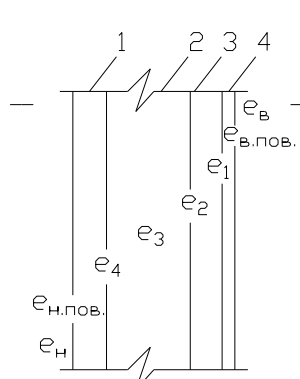
здесь $R_{\Pi.B.}$ и $R_{\Pi.H.}$ – сопротивления влагоотдаче на внутренней и наружной поверхностях стены, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{МГ}}$.

Если в конструкции наружного ограждения имеются тонкие слои пароизоляции или гидроизоляции, их сопротивление паропрооницанию принимается по Приложению 18.

Находим интенсивность потока водяного пара:

$$g = \frac{e_B - e_H}{R_{o,\Pi}} = \frac{1208 - 221}{3,69} = 267,5 \text{ мз} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч}) \quad (16)$$

5.1.6. Определяем распределение парциального давления водяных паров по сечению стены, схема обозначений которых приведена на рис 6, при температуре наружного воздуха, равной средней температуре января $t_H = t_{я} = -11,8$ °С. Парциальное давление водяных паров в любой точке x в сечении стены равно:



$$e_x = e_B - \frac{R_{\Pi,x-B}}{R_{o,\Pi}} \cdot (e_B - e_H); \quad e_x = e_H + \frac{R_{\Pi,x-H}}{R_{o,\Pi}} \cdot (e_B - e_H) \quad (17)$$

здесь $R_{o,\Pi,x-B}$ и $R_{o,\Pi,x-H}$ – сопротивления паропрооницанию части наружной стены от рассматриваемой точки до внутреннего и наружного воздуха, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{МГ}}$.

$$e_{B.\Pi.} = e_B - (R_{\Pi.B.} / R_{o,\Pi}) (e_B - e_H) =$$

$$= 1208 - (0,0267 / 3,69)(1208 - 221) = 1201 \text{ Па}$$

Рис.6. Схема обозначений парциальных давлений

в сечении наружной стены, принятая в п. 5.

$$e_1 = e_B - \frac{R_{\Pi.B.} + R_{\Pi.1}}{R_{o,\Pi}} \cdot (e_B - e_H) = 1208 - \frac{0,0267 + 0,02/0,09}{3,69} \cdot 987 = 1141 \text{ Па};$$

$$e_2 = e_B - \frac{R_{\Pi.B.} + R_{\Pi.1} + R_{\Pi.2}}{R_{o,\Pi}} \cdot (e_B - e_H) = 1208 - \frac{0,0267 + 0,02/0,09 + 0,25/0,11}{3,69} \cdot 987 = 534 \text{ Па};$$

$$e_3 = e_H + \frac{R_{II.H} + R_{II.1} + R_{II.2}/2}{R_{o,II}} \cdot (e_B - e_H) = 221 + \frac{0,0052 + 0,12/0,14 + 0,15/(2 \cdot 0,49)}{3,69} \cdot 987 = 492 \text{ Па};$$

(18)

$$e_4 = e_H + \frac{R_{II.H} + R_{II.1}}{R_{o,II}} \cdot (e_B - e_H) = 221 + \frac{0,0052 + 0,12/0,14}{3,69} \cdot 987 = 452 \text{ Па};$$

$$e_{H.II} = e_H + \frac{R_{II.H}}{R_{o,II}} \cdot (e_B - e_H) = 221 + \frac{0,0052}{3,69} \cdot 987 = 222 \text{ Па}.$$

Полученные результаты расчета сведем в табл. 5:

Таблица 5

Сечение	Температура, °С	Давление насыщения, Па	Парциальное давление, Па
внутренний воздух	19,0	2197	1208
внутренняя поверхность	17,85	2044	1201
1	17,38	1985	1141
2	14,04	1603	534
3	2,36	725	492
4	-9,3	235	452
наружная поверхность	-11,37	230	222
наружный воздух	-11,8	221	221

То, что в сечении между облицовочным кирпичом и утеплителем парциальное давление водяных паров превысило максимально возможную величину для соответствующей температуры (давление насыщения), свидетельствует о возможности конденсации водяных паров в толще ограждения (сечение 4: 452 Па > 235 Па). Вопрос о необходимости дополнительной пароизоляции с внутренней стороны наружной стены должен быть решен на основе расчета на ЭВМ требуемых сопротивлений паропроонианию ограждения между внутренней поверхностью и плоскостью возможной конденсации.

По полученным в таблице данным построим график (рис. 7) распределения температуры, парциального давления и давления насыщения в сечении стены М 1:10, по температуре масштаб удобно принять таким, чтобы по вертикали график температуры занимал около 8-15 см. В нашем случае удобно принять в 1 см 5 °С. По парциальному давлению удобно принять масштаб в 1 см 100 Па. Допустимо, чтобы графики температуры и парциального давления накладывались друг на друга. Можно каждый из трех графиков представить разными цветами.

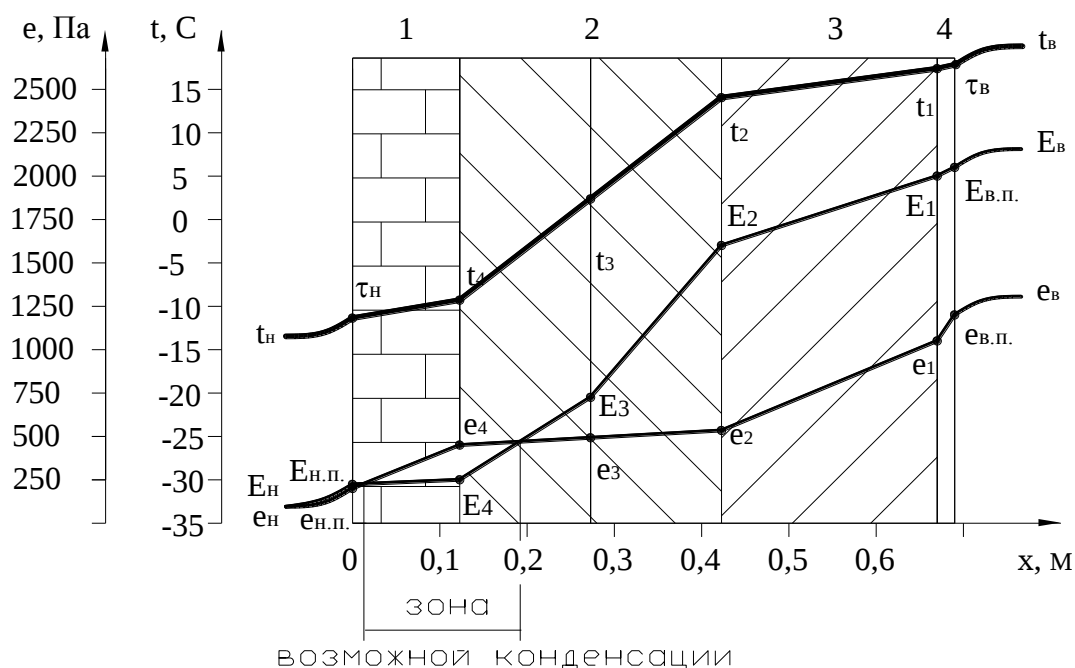


Рис. 7. К определению возможной конденсации в наружной стене

5.2. Расчет на ЭВМ требуемых сопротивлений паропрооницанию ограждения

5.2.1. Порядок работы с программой (авторы Е.Г.Малявина и С.В.Бирюков)

В курсовой работе применяются разработанные программы, объединенные одной оболочкой для того, чтобы студент, введя один раз личные данные, мог пользоваться файлом для трех программ, использующихся в расчетах на ЭВМ при выполнении курсовой работы по Строительной теплофизике:

- Wlag – расчёт влажностного режима наружного ограждения;
- HTS – нестационарная передача через наружное ограждение;
- Tempap – расчёт температуры воздуха помещения и на поверхностях ограждений при различных системах отопления.

Инструкция по работе с главным меню программы

Введите личные данные в окна главного меню

Нажмите одну из кнопок необходимого расчёта по курсу «Строительной теплофизики».

Программа позволяет работать с записанными ранее файлами.

Исходные данные по трём расчётам сохраняются в едином файле. Для сохранения данных

выберете в главном меню пункт «сохранить».

Если есть необходимость в изменении или дополнении файла, то сначала надо открыть сохранённый файл.

Пример заполнения главного меню общей программы приведен на рис. 8.

5.2.2. Постановка задачи о расчете требуемых сопротивлений паропрооницанию ограждения

Расчет на ЭВМ требуемых сопротивлений паропрооницанию ограждения между внутренней средой и плоскостью возможной конденсации, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, выполняется в соответствии с [2]. Плоскость возможной конденсации в однородной (однослойной) ограждающей конструкции располагается на расстоянии, равном 2/3 толщины конструкции от ее внутренней поверхности, а в

многослойной конструкции совпадает с наружной поверхностью утеплителя. Требуемые сопротивления паропрооницанию нормируются исходя из:

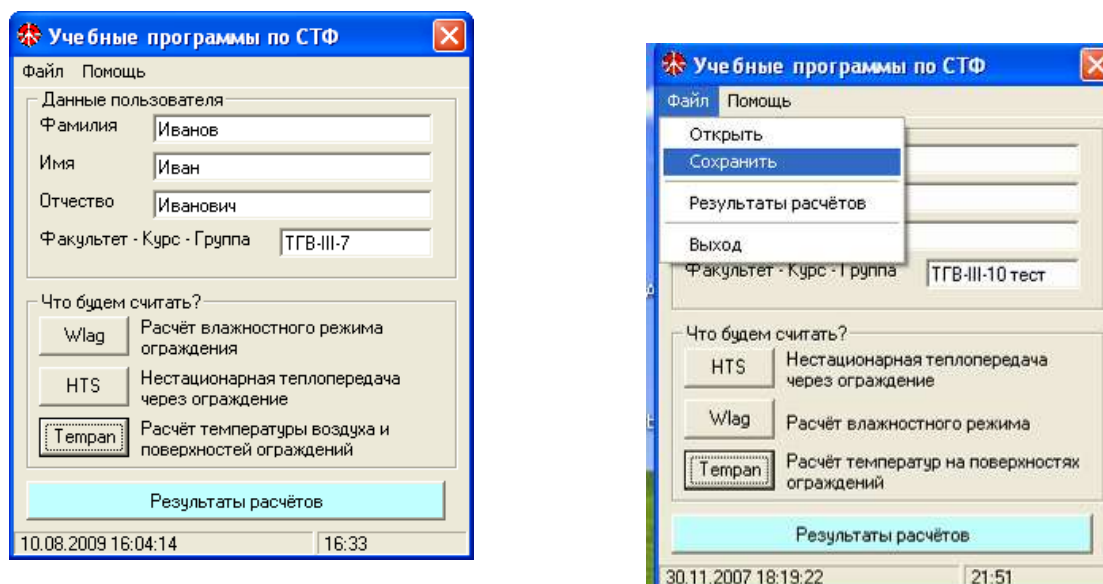


Рис. 8. Главное меню

- из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации по формуле:

$$R_{m}^{TP} = \frac{(e_B - E)R_{п,нар}}{E - e_H} \text{ Па}, \quad (19)$$

где: e_B – парциальное давление водяных паров в воздухе помещения, Па, по п. 5.1.3;

E – парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, определяемое по формуле

$$E = (E_1 \cdot Z_1 + E_2 \cdot Z_2 + E_3 \cdot Z_3) / 12; \quad (20)$$

E_1, E_2, E_3 – парциальное давление водяного пара, Па, принимаемое по температуре в плоскости возможной конденсации, устанавливаемой при средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов (при расчете E_3 для летнего периода температура внутреннего воздуха должна приниматься не ниже средней температуры наружного воздуха для этого периода. При подготовке исходных данных расчетная температура внутреннего воздуха помещений в теплый период года принимается на 3 °С выше температуры наружного воздуха по параметрам А: в примере $t_A = 22,4$ °С (подпункт 11 п. 1.1.);

$$t_B = t_A + 3 = 22,4 + 3 = 25,4; \quad (21)$$

расчетная влажность внутреннего воздуха в теплый период года принимается равной верхней границе допустимых условий по ГОСТ 30494-96 (Приложение 3), для рассчитываемого примера 65%;

Z_1, Z_2, Z_3 – продолжительность, мес, зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов года, определяемая по табл. 1 с учетом следующих условий:

- к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже минус 5 °С;
- к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус 5 °С до плюс 5 °С;

в) к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами воздуха выше плюс 5 °С;

$R_{п,нар}$ – сопротивление паропрооницанию, м²·чПа/мг, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной средой и плоскостью возможной конденсации.

- из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха по формуле:

$$R_{П2}^{TP} = \frac{0,0024z_o(e_B - E_o)}{\rho_{ув} \delta_{ув} \Delta w_{ув} + 0,0024z_o(E_o - e_{H1}) / R_{П,нар}}, \quad (22)$$

где: E_o – парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации, определяемое при средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами;

Z_o – продолжительность, сут, периода влагонакопления, принимаемая равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха по табл.1;

$\rho_{ув}$ – плотность материала увлажняемого слоя, кг/м³, принимаемая по Приложению 11;

$\delta_{ув}$ – толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, м, принимаемая равной 2/3 толщины однородной (однослойной) стены или толщине теплоизоляционного слоя (утеплителя) многослойной ограждающей конструкции;

$\Delta w_{ув}$ – предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя, %, за период влагонакопления яо, принимаемое по Приложению 17;

e_{H1} – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, определяемое по табл.1.

5.2.3. Порядок расчета влажностного режима ограждения по программе Wlag:

- задайте среднемесячные характеристики наружного воздуха (температуру, °С и упругость водяного пара, Па);
- последовательно, присваивая номера слоям ограждающей конструкции, начиная с наружного, задайте характеристики для каждого слоя наружной стены;
- задайте характеристики внутреннего воздуха для тёплого и холодного периодов года;
- задайте характеристики утеплителя, коэффициент теплотехнической однородности и район строительства;
- для выполнения расчета нажмите «расчёт»;
- для проверки введенных данных, просмотра результатов расчёта и распечатки нажмите «Результаты расчёта».

Заполнение меню программы Wlag выполняется в соответствии с рис. 9.

Расчёт влажностного режима ограждения (Wlag)

Среднемесячные характеристики наружного воздуха

	ЯНВ	ФЕВ	МАР	АПР	МАЙ	ИЮН	ИЮЛ	АВГ	СЕН	ОКТ	НОЯ	ДЕК
Температура, °C	-11,8	-11,1	-5	4,2	12	16,4	18,4	16,9	11	3,6	-2,8	-8,9
Упругость водяного пара, гПа	2,5	2,5	3,6	6	8,7	12	14,8	3,7	10,1	6,6	4,5	3,2

Теплофизические характеристики

Добавить слой Удалить слой Слой 1

1 - наружный слой

Материал Кирпичная кладка

Толщина слоя, м 0,12

Теплопроводность, Вт/(м·K) 0,58

Паропроницание, мг/(м·ч·Па) 0,14

Характеристики внутренн. воздуха

Температура ХП, гр 19

Относ. влажн. ХП, % 50

Температура ТП, гр 25,4

Относ. влажн. ТП, % 65

Характеристики утеплителя

Плотность, кг/м³ 125

Предельно-допустимое отношение d_w в утеплителе, % 3

Козф. теплотехническ. однородности μ 0,87

Район строительства Москва

Расчёт Результаты расчёта Закрыть

Рис. 9. Пример заполнения меню программы Wlag

5.2.4. Результаты расчета и их анализ

Пример распечатки с результатами расчета приведен ниже.

Общее сопротивление паропроницанию ограждения $R_{0,п} = 3,69 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, причем от внутренней среды до плоскости возможной конденсации $R_{п,вн} = 2,83 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, что больше требуемого по первому условию недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период ($R_{п,вн} = 2,83 > R_{п,1}^{TP} = 1,29$), но не достаточно для удовлетворения второго условия ограничения влаги в ограждении за период с отрицательными температурами ($R_{п,вн} = 2,83 < R_{п,1}^{TP} = 3,05$). Для увеличения сопротивления слоя от внутренней среды до плоскости возможной конденсации проектируем покрытие наружной стены между кирпичом и внутренней штукатуркой изольной мастикой. Сопротивление паропроницанию слоя мастики равно $0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ (Приложение 18) ($2,83 + 0,6 = 3,43 > 3,05 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$).

Исходные данные

Район строительства: Москва

Характеристики параметров наружного воздуха:

Месяц	ЯНВ	ФЕВ	МАР	АПР	МАЙ	ИЮН	ИЮЛ	АВГ	СЕН	ОКТ	НОЯ	ДЕК
t, оС	-11,8	-11,1	-5	4,2	12	16,4	18,4	16,9	11	3,6	-2,8	-8,9
e, гПа	2,5	2,5	3,6	6	8,7	12	14,8	3,7	10,1	6,6	4,5	3,2

Характеристики параметров внутреннего воздуха:

температура ХП (ТП), оС: 19 (25,4)

относительная влажность ХП (ТП), %: 50 (65)

Характеристика ограждения:

Число слоёв ограждения: 4

Наименование слоя	Толщина, м	Теплопроводность, Вт/(м*К)	Паропроницаемость, мг/(м*ч*Па)
1 .Кирпичная кладка	0,12	0,58	0,14
2 .Теплоизоляция	0,15	0,064	0,49
3 .Кирпичная кладка	0,22	0,7	0,11
4 .Штукатурка	0,02	0,76	0,09

плотность утеплителя, кг/м3 125

предельно-допустимое приращение расчётного массового отношения влаги в утеплителе dw, % 3

коэффициент теплотехнической однородности $\mu = 0,87$ **Результаты расчёта****Упругость водяного пара внутреннего воздуха, Па**

-в холодный и переходный периоды года 1096,06

-в теплый период года 2109,83

-в среднем за год 1518,46

Упругость водяного пара наружного воздуха, Па:

-средняя за год 651,6667

-периода с отрицательными среднемесячными температурами 326

Продолжительность:-периода влагонакопления z_0 , сут 152-зимнего периода z_1 , мес 3-весенне-осеннего периода z_2 , мес 4-летнего периода z_3 , мес 5**Средняя температура наружного воздуха, оС:**-периода влагонакопления $t_{no} = -7,9$ -зимнего периода $t_{n1} = -10,6$ -весенне-осеннего периода $t_{n2} = 0,0$ -летнего периода $t_{n3} = 14,9$ **Средняя температура в плоскости возможной конденсации, оС:**-периода влагонакопления $t_o = -5,7$ -зимнего периода $t_1 = -8,2$ -весенне-осеннего периода $t_2 = 1,6$ -летнего периода $t_3 = 15,8$ **Давление насыщения водяных паров в плоскости возможной конденсации, Па:**-периода влагонакопления $E_o = 399,9$ -зимнего периода $E_1 = 329,8$ -весенне-осеннего периода $E_2 = 683,3$ -летнего периода $E_3 = 1788,4$ - годового периода эксплуатации $E = 1055,4$ **Сопротивление паропроницанию ограждения, кв.м*ч*Па/мг:**-между наружной средой и плоскостью возможной конденсации $R_{п.нар.} = 0,86$ -фактическое общее $R_{п.о} = 3,42$ -фактическое между внутренней средой и плоскостью возможной конденсации $R_{п.вн.} = 2,55$ **Требуемое сопротивление паропроницанию ограждения между внутренней средой и плоскостью возможной конденсации, кв.м*ч*Па/мг:**-из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации, $R_{п1,тр} = 0,99$ -из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха, $R_{п2,тр} = 2,90$

6. Теплотери помещения.

6.1. Расчет теплотерь помещения за счет теплопередачи через наружные ограждения. Для примера рассматриваются 4 помещения: угловое и рядовое последнего и промежуточного этажей (в курсовой работе - одно). На рис. 10 представлены план типового этажа рассматриваемого в примере здания.

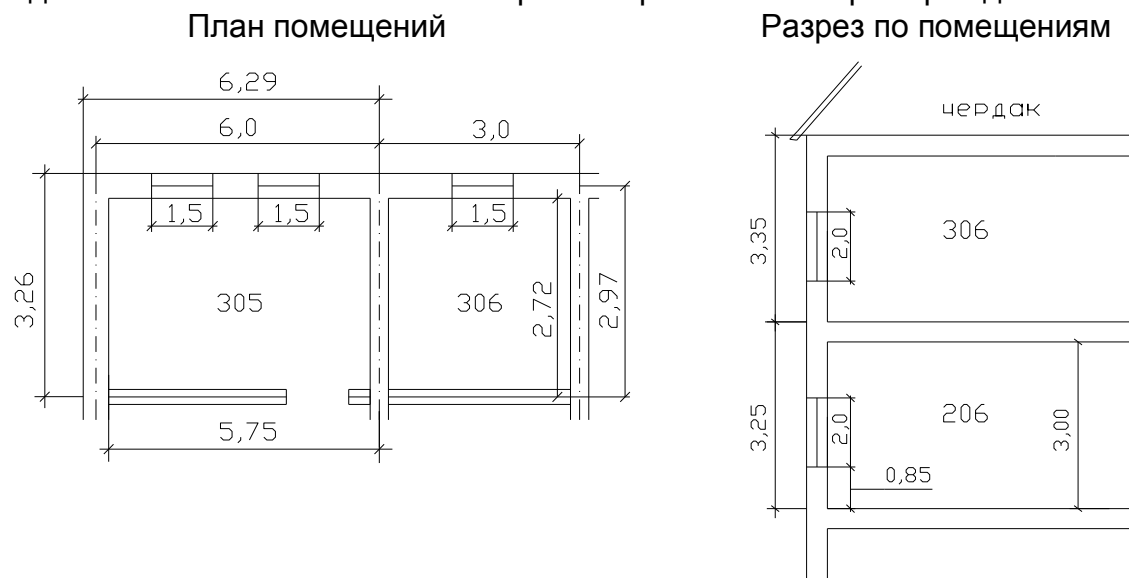


Рис. 10. План типового этажа и разрез по зданию

6.1.1. Теплотери помещения за счет теплопередачи через наружные ограждения определяются суммированием потерь теплоты через каждое наружное ограждение, которые рассчитываются по формуле:

$$Q_{T.п.} = \overbrace{K_i \cdot A_i \cdot (t_B - t_H) \cdot n_i}^{\text{ОСНОВНЫЕ ТЕПЛОПТЕРИ}} \cdot (1 + \sum \beta)_i \quad (23)$$

где K_i - коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/(м²·°C);

A_i - площадь поверхности ограждения по наружному обмеру (в соответствии с правилами обмера ограждений, принятыми в расчете теплотерь [7]), м². Для наружных стен рядовых (не угловых) помещений ширина принимается в осях перегородок, примыкающих к стене, а для угловых - от наружной грани угла до оси перегородки. Высота наружных стен помещений промежуточных этажей берется от пола расчетного этажа до пола вышележащего, последнего - от пола расчетного до пола чердака или до кровли (при бесчердачном покрытии). Так как на чердачном перекрытии лежит утеплитель, в рассматриваемом здании чердачное перекрытие на 0,1 м толще междуэтажного. Поэтому высота промежуточного этажа на 0,1 м меньше высоты последнего этажа, то есть высота промежуточного этажа равна 3,25 м, а последнего 3,35 м. Размеры окон принимаются по наименьшим в свету обмерам. Размеры потолков и полов берутся от внутренней грани наружной стены до оси противоположной перегородки или между осями перегородок;

t_B - температура воздуха помещения, °C, принимаемая по [9] (п 5.1) минимальной из допустимого интервала температуры, то есть, для помещения категории 2 по Прил. 3 температура 18°C. Однако, по требованию заказчика эта температура повышена до 19 °C;

t_H - температура наружного воздуха, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 $t_5^{0,92}$, °С, по п.1.1. $t_H = -31$ °С;

n_i - коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху, то есть коэффициент, уменьшающий разность температур ($t_B - t_H$) для ограждений, не соприкасающихся непосредственно с наружным воздухом (чердачные перекрытия, перекрытия над неотапливаемыми подпольями и т.д.), принимается по п.2.1;

β - добавка к основным теплопотерям. Величины добавок равны: для северной (С), северо-восточной (СВ), северо-западной (СЗ), восточной (В) ориентаций $\beta=0,1$; для юго-восточной (ЮВ) и западной (З) ориентаций $\beta=0,05$; для южной (Ю) и юго-западной (ЮЗ) ориентаций $\beta=0$;

- на угловое помещение, 0,05 - для каждого вертикального ограждения углового помещения.

Расчет теплопотерь за счет теплопередачи углового (305), рядового (306) помещений третьего верхнего этажа, углового (205) и рядового (206) промежуточного второго этажа сведен в табл. 6. В графу 7 на место соответствующего окну коэффициента теплопередачи записывается разность коэффициентов теплопередачи окна и наружной стены, в которой окно расположено: $K_{ок} - K_{нс} = 2,22 - 0,372 = 1,848 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Таблица 6

Помещение		Характеристики ограждения						Разность температур $(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n$ °C	Основные тепло-потери, $Q_{\text{осн}}$, Вт	Добавки			Тепло-потери $Q_{\text{т.п.}}$, Вт
Но-мер	На-име-но-ва-ние, °C	Наи-ме-но-ва-ние	Ори-ен-та-ция	Раз-меры ахв, м	Пло-щадь А, м ²	коэффициенты				На ориен-тацию β_1	Прочие β_2	$1 + \sum \beta$	
						Тепло-переда-чи, К, Bm $(^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2)$	Положе-ния, п, Bm $(^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2)$						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
205	КА-би-нет 19	Нс	3	3,26 x3,25	10,6	0,372	1	50	197,2	0,05	0,05	1,10	216,9
		Нс	С	6,29 x3,25	20,4	0,372	1	50	379,4	0,1	0,05	1,15	436,4
		2То	С	1,5x2 x2	6	1,848	1	50	554,4	0,1	0,05	1,15	637,6
Итого 1290,9													
206	КА-би-нет 19	Нс	С	3,0x 3,25	9,8	0,372	1	50	181,4	0,1	-	1,1	199,5
		То	С	1,5x2	3	1,848	1	50	277,2	0,1	-	1,1	304,9
Итого 504,4													
305	КА-би-нет 19	Нс	3	3,26 x3,35	10,9	0,372	1	50	202,8	0,05	0,05	1,10	223,1
		Нс	С	6,29 x3,35	21,0	0,372	1	50	391,6	0,1	0,05	1,15	450,4
		2То	С	1,5x2 x2	6	1,848	1	46	502,3	0,1	0,05	1,15	577,7
		Пт	-	2,72 x5,745	15,6	0,328	0,9	45	207,2	-	-	1,0	207,2
Итого 1458,4													
306	КА-би-нет 19	Нс	С	3,0x 3,35	10,1	0,372	1	50	187,9	0,1	-	1,1	206,6
		То	С	1,5x2	3	1,848	1	50	277,2	0,1	-	1,1	304,9
		Пт	-	3,0x 2,715	8,1	0,328	0,9	45	119,6	0	-	1,0	119,6
Итого 631,1													

В таблице использованы следующие общепринятые сокращения: Нс – наружная стена, То – тройное окно, Пт – потолок, Пл – пол.

6.2. Потребность в теплоте на нагревание инфильтрационного воздуха. Пример выполнен для помещений 206 и 306.

Теплопотери помещения за счет инфильтрации наружного воздуха определяются по формуле:

$$Q_{ИНФ} = 0,28 \cdot G_0 \cdot c \cdot A_{ОК} \cdot (t_B - t_H) \cdot k_{ВСТР}, \text{ Вт} \quad (24)$$

c – удельная теплоемкость воздуха, равная $1,005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

$A_{ОК}$ – площадь окон данного помещения, м^2 , для пом. 206 и 306 $A_{ОК} = 3 \text{ м}^2$;

t_B – расчетная температура воздуха помещения, $^\circ\text{C}$, по п. 1.2. $t_B = 19 ^\circ\text{C}$;

t_H – температура наружного воздуха, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью $0,92 t_5^{0,92}$, $^\circ\text{C}$, по п.1.1. $t_H = -31 ^\circ\text{C}$;

$k_{ВСТР}$ – коэффициент учета встречного теплового потока в конструкциях. Для окон с тройными раздельными переплетами $k_{ВСТР} = 0,7$; с двойными раздельными – $k_{ВСТР} = 0,8$; для окон и балконных дверей со спаренными переплетами $k_{ВСТР} = 0,9$ и для окон и балконных дверей с одинарными переплетами $k_{ВСТР} = 1$. В рассматриваемом случае для окна (см. п.3.2.1.) из двухкамерного стеклопакета в металлическом переплете $k_{ВСТР} = 1$;

G_0 – расход инфильтрационного воздуха через 1 м^2 окна (фактическая воздухопроницаемость окна), $\text{кг}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$:

$$G_0 = \frac{1}{R_H^\Phi} \left(\frac{\Delta P}{\Delta P_0} \right)^{2/3}, \quad (25)$$

ΔP – разность давлений по обе стороны окна расчетного помещения, Па.

$$\Delta P = (H - h)(\gamma_H - \gamma_B) + (\rho_H \cdot V^2 / 2)(c_H - c_3)k_{\text{дин}} - P_B, \text{ Па}, \quad (26)$$

ΔP_0 – разность давлений воздуха по обе стороны окна, при которой проводятся исследования воздухопроницаемости окон, $\Delta P_0 = 10 \text{ Па}$;

H – высота здания от отметки низа входа в здание до верха вентиляционной шахты; в нашем случае $H = 15,3 \text{ м}$ (см. п. 3.2.3.);

h – расстояние от земли до центра расчетного окна, м. Расчетное помещение 206 находится на втором, а 306 на третьем этажах. Высота окна 2 м , от пола до низа окна – $0,85 \text{ м}$.

- для 206 $h = 1 + 4,2 + 0,85 + 2/2 = 7,05 \text{ м}$;

- для 306 $h = 1 + 4,2 + 3,25 + 0,85 + 2/2 = 10,3 \text{ м}$;

γ_H, γ_B – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, $\text{Н}/\text{м}^3$ (см, п, 3.2.3):

- для наружного воздуха $\gamma_H = 14,3 \text{ Н}/\text{м}^3$;

- для внутреннего воздуха $\gamma_B = 11,9 \text{ Н}/\text{м}^3$;

V – расчетная скорость ветра для холодного периода. В данном случае $v = V_A = 5,1 \text{ м}/\text{с}$ (см. п.1.1.).

R_H^Φ – фактическое сопротивление воздухопроницанию окна, $R_H^\Phi = 0,44 \text{ м}^2 \cdot \text{ч}/\text{кг}$ (см. п. 3.2.5.);

ρ_H - плотность наружного воздуха, кг/м^3 . $\rho_H = \gamma_H / g = 14,3/9,81 = 1,46 \text{ кг/м}^3$;

c_H, c_3 - аэродинамические коэффициенты соответственно для наветренной и подветренной поверхностей ограждений здания, [5]. Для зданий прямоугольной формы $c_H = 0,8$, $c_3 = -0,6$;

$k_{\text{дин}}$ - коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания, [5] или Приложение 19. Для трехэтажного здания в городской застройке типа В при высоте здания около 15 м $k_{\text{дин}} = 0,75$;

P_B - условно-постоянное давление воздуха в помещении, Па. Для зданий со сбалансированной приточно-вытяжной вентиляцией

$$P_B = H(\gamma_H - \gamma_B)/2 + (\rho_H V^2 / 2)(c_H - c_3)k_{\text{дин}}/2 = 15,3(14,3 - 11,9)/2 + (1,46 \cdot 5,1^2 / 2)(0,8 + 0,6)0,75/2 = 18,5 + 10,0 = 28,36 \text{ Па.} \quad (27)$$

- для пом. 206 разность давлений

$$\Delta P = (15,3 - 7,05)(14,3 - 11,9) + (1,46 \cdot 5,1^2 / 2)(0,8 + 0,6)0,75 - 28,36 = 19,8 + 19,9 - 28,36 = 11,34 \text{ Па;}$$

- для пом. 306 разность давлений

$$\Delta P = (15,3 - 10,3)(14,3 - 11,9) + (1,46 \cdot 5,1^2 / 2)(0,8 + 0,6)0,75 - 28,36 = 12,0 + 19,9 - 28,36 = 3,54 \text{ Па}$$

- расход инфильтрационного воздуха через 1 м^2 окна (фактическая воздухопроницаемость окна) для помещения 206

$$G_0 = \frac{1}{0,44} \left(\frac{11,34}{10} \right)^{2/3} = 2,5 \text{ кг/(ч} \cdot \text{м}^2)$$

потребность в теплоте на нагревание инфильтрационного воздуха в этом помещении

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot 2,5 \cdot 1,005 \cdot 3(19 - (-31)) \cdot 1 = 105,5 \text{ Вт}$$

- расход инфильтрационного воздуха через 1 м^2 окна (фактическая воздухопроницаемость окна) для помещения 306

$$G_0 = \frac{1}{0,44} \left(\frac{3,54}{10} \right)^{2/3} = 1,1 \text{ кг/(ч} \cdot \text{м}^2),$$

потребность в теплоте на нагревание инфильтрационного воздуха в этом помещении

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot 1,1 \cdot 1,005 \cdot 3(19 - (-31)) \cdot 1 = 46,4 \text{ Вт}$$

Суммарные теплотопотери помещения Q_{Π} , Вт, равны

$$Q_{\text{пом}} = Q_{\text{т.п.}} + Q_{\text{инф}}; \quad (28)$$

- для помещения 206:

$$Q_{\Pi} = 504,4 + 105,5 = 609,9 \text{ Вт;}$$

- для помещения 306:

$$Q_{\Pi} = 631,1 + 46,4 = 677,5 \text{ Вт.}$$

Так как в угловых помещениях 205 и 305 по 2 таких же окна, то их суммарные теплотопотери равны:

- для помещения 205:

$$Q_{\Pi} = 1290,9 + 105,5 \cdot 2 = 1501,9 \text{ Вт;}$$

- для помещения 305:

$$Q_{\Pi} = 1458,4 + 46,4 \cdot 2 = 1551,2 \text{ Вт.}$$

7. Нестационарный тепловой режим наружного ограждения и помещения

7.1. Нестационарный тепловой режим помещения

Требуется определить, укладывается ли амплитуда колебаний температуры помещения при отоплении пропусками с двумя топками в сутки в допускаемые $+1,5^{\circ}\text{C}$.

В здании, присоединенном к системе теплоснабжения, в теплую часть отопительного периода из-за необходимости иметь достаточно высокую температуру для горячего водоснабжения, температура воды для отопления выше, чем это необходимо для поддержания заданной температуры помещения. Поэтому применяют отопление пропусками [10], то есть m часов теплоноситель циркулирует, а затем на n часов циркуляция прекращается. Этот метод регулирования теплоотдачи отопительных приборов в недавнем прошлом применялся в зданиях различного назначения, сейчас преимущественно производственных.

Требуется рассчитать амплитуду колебаний температуры помещения при заданной продолжительности натопа $m=8$ ч и перерыва $n=4$ ч, если температура t_H наружного воздуха $+5^{\circ}\text{C}$.

7.1.1. Определяем теплопотери помещения 206 при заданной $t_H = 5^{\circ}\text{C}$

$$Q_5 = Q_{T.П.} \cdot \frac{t_B - 5}{t_B - t_5^{92}} = 609,9 \cdot \frac{19 - 5}{19 + 31} = 170,8 \text{ Вт}, \quad (29)$$

здесь $Q_{T.П.} = 609,9$ Вт - суммарные теплопотери помещения при расчетной температуре наружного воздуха $t_H = -31^{\circ}\text{C}$ (п. 6.2.).

Однако температура отопительного прибора при температуре наружного воздуха 5°C выше, чем это требуется, для возмещения рассчитанных теплопотерь. Происходит это потому, что для удовлетворения требований к нагреву воды горячего водоснабжения, получающего теплоту от той же теплосети, что и для отопления, температурный график качественного регулирования теплоотдачи отопительных приборов в зависимости от температуры наружного воздуха имеет излом. Этот излом не позволяет температуре воды в подающем трубопроводе теплосети снижаться ниже 70°C , при этом в обратном трубопроводе температура воды равна 42°C . Средняя температура отопительного прибора равна средней температуре воды в подающем и обратном трубопроводе системы отопления. Можно считать, что с учетом остывания воды в подающих магистралях системы отопления, температура воды, входящей в отопительный прибор, составит $70 - 1 = 69^{\circ}\text{C}$. Тогда средняя температура отопительного прибора равна $(69 + 42)/2 = 55,5^{\circ}\text{C}$ вместо необходимой $44,6^{\circ}\text{C}$. Изменение коэффициента теплопередачи прибора от разности температуры самого прибора и температуры воздуха помещения нелинейно. С учетом этого теплоотдача отопительного прибора составит:

$$Q = Q_5 \cdot \left(\frac{t_{o.n} - t_B}{t_{o.n.сп} - t_B} \right)^{1,25} = 170,8 \cdot \left(\frac{55,5 - 19}{44,6 - 19} \right)^{1,25} = 266,1 \text{ Вт},$$

Чтобы в помещение в среднем за сутки теплоступления от отопительного прибора были равны требуемой величине Q_5 , необходимо при отоплении пропусками соблюсти соотношение между продолжительностью топки и перерыва

$$\frac{m}{m+n} = \frac{Q_5}{Q} = \frac{170,8}{266,1} = 0,642.$$

При заданных двух топках период топок составляет $m+n=T=24/2=12$ ч, то есть :

$$\frac{m}{m+n} = 0,642 = \frac{m}{12},$$

откуда $m=12 \cdot 0,642=7,70$ ч. Принимаем продолжительность топки $m=8$ ч, а перерыва $n=4$ ч.

7.1.2. Определяем коэффициенты теплоусвоения Y_i внутренних поверхностей всех ограждений:

- наружная стена: внутренний слой - штукатурка, толщиной 0,02 м, с термическим сопротивлением $R_{шт} = 0,023 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, коэффициентом теплоусвоения $s_{24,шт} = 9,6 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$. Для периода $m+n=8+4=12$ часов

$$s_{12,шт} = s_{24,шт} \cdot \sqrt{24/(m+n)} = 9,6 \cdot \sqrt{24/(8+4)} = 13,58 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C} \quad (30)$$

Тепловая инерция $D = R_{шт} \cdot s_{12,шт} = 13,58 \cdot 0,023 = 0,312 < 1$. Следовательно, в расчете необходимо учесть следующий слой – кладки из сплошного глиняного кирпича, толщиной 0,25 м, с термическим сопротивлением $R_{к.к} = 0,25/0,7 = 0,31 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, коэффициентом теплоусвоения $s_{к.к} = 9,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$. Для периода $m+n=8+4=12$ часов

$$s_{12,к.к.} = s_{24,к.к.} \cdot \sqrt{24/(m+n)} = 9,2 \cdot \sqrt{24/(8+4)} = 13,01 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$$

Тепловая инерция $D = R_{к.к} \cdot s_{12,к.к.} = 13,01 \cdot 0,31 = 4,03 > 1$.

Так как тепловая инерция второго слоя больше 1:

$$Y_{H.C.} = \frac{R_{шт} \cdot s_{12,шт}^2 + s_{12,к.к.}}{1 + R_{шт} \cdot s_{12,к.к.}} = \frac{0,023 \cdot 13,58^2 + 13,01}{1 + 0,023 \cdot 13,01} = 13,28 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C} \quad (31)$$

- потолок: внутренний слой - железобетонная пустотная плита с $R_{шт} = 0,151 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, с коэффициентом теплоусвоения $s_{24,шт} = 10,159 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ – величина усредненная с учетом тела ж/бетона и отверстий $[(0,22 \cdot 0,21 - 3,14 \cdot 0,16^2/4)/(0,22 \cdot 0,21)] \cdot 17,98 = 10,159 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ (здесь в квадратных скобках – относительная площадь тела плиты от всей площади ее поперечного сечения; $17,98 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ - коэффициентом теплоусвоения s_{24} для железобетона). Для периода $m+n=8+4=12$ часов

$$s_{12,шт} = s_{24,шт} \cdot \sqrt{24/(m+n)} = 10,159 \cdot \sqrt{24/(8+4)} = 14,36 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$$

Тепловая инерция $D = R_{шт} \cdot s_{12,шт} = 14,36 \cdot 0,151 = 2,17 > 1$.

Так как у первого слоя величина $D > 1$, то $Y_{шт} = s_{12,шт} = 14,36 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$.

- перегородки: керамзитобетонные панели с термическим сопротивлением перегородки $R_{пер} = \delta / \lambda_A = 0,1/0,67 = 0,149 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, коэффициентом теплоусвоения $s_{24,пер} = 9,06 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$. Для периода $m+n=8+4=12$ часов

$$s_{12,пер} = s_{24,пер} \cdot \sqrt{24/(m+n)} = 9,06 \cdot \sqrt{24/(8+4)} = 12,81 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$$

Тепловая инерция $D = R_{пер} \cdot s_{12,пер} = 0,149 \cdot 12,81 = 1,908 < 2$. Так как перегородки находятся в одинаковых тепловых условиях с обеих сторон и тепловая инерция каждой половины $D < 1$, то $Y_{пер} = (R_{пер} / 2) \cdot s_{пер}^2 = 0,149/2 \cdot 12,81^2 = 12,22 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$.

- окно: сопротивление теплопередаче окна $R_{ок} = 0,45 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$,

$$Y_{H.C.} = \frac{\alpha_H}{1 + R \cdot \alpha_H} = \frac{1}{R_{ок} - 1/\alpha_B} = \frac{1}{0,45 - 1/8,7} = 2,98 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C} \quad (32)$$

- пол: паркетный из дуба поперек волокон с сопротивлением теплопередаче слоя дуба $R_{\text{дуб}}=0,083 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$, с коэффициентом теплоусвоения $s_{24,\text{ДУБ}}=5,0 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{°C}$.

Для периода $m+n=8+4=12$ часов

$$s_{12,\text{ДУБ}} = s_{24,\text{ДУБ}} \cdot \sqrt{24/(m+n)} = 5,0 \cdot \sqrt{24/(8+4)} = 7,07 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{°C}$$

Тепловая инерция $D_{\text{ДУБ}} = R_{\text{ДУБ}} \cdot s_{12,\text{ДУБ}} = 7,07 \cdot 0,083 = 0,587 < 1$. Следовательно, в расчет следует ввести следующий слой – сплошную железобетонную плиту с термическим сопротивлением $\delta / \lambda_A = 0,22/1,92 = 0,114 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$ и коэффициентом теплоусвоения $s_{24,\text{Ж.Б.}}=17,98 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{°C}$. Для периода $m+n=8+4=12$ часов

$$s_{12,\text{Ж.Б.}} = s_{24,\text{Ж.Б.}} \cdot \sqrt{24/(m+n)} = 17,98 \cdot \sqrt{24/(8+4)} = 25,4 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{°C}.$$

Тепловая инерция слоя железобетона равна $D_{\text{Ж.Б.}} = R_{\text{Ж.Б.}} \cdot s_{12,\text{Ж.Б.}} = 25,4 \cdot 0,114 = 2,89 > 1$. Следовательно,

$$Y_{\text{ПЛ.}} = \frac{R_{\text{ДУБ}} \cdot s_{12,\text{ДУБ}}^2 + s_{12,\text{Ж.Б.}}}{1 + R_{\text{ДУБ}} \cdot s_{12,\text{Ж.Б.}}} = \frac{0,083 \cdot 7,07^2 + 25,4}{1 + 0,083 \cdot 25,4} = 9,51 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{°C}$$

7.1.3. Амплитуда колебаний температуры помещения равна

$$A_t = \frac{0,9 \cdot Q}{\frac{1}{\Omega^{\text{МАКС}} / \sum Y_i A_i + 1/\alpha_B \sum A_i} + P_{\text{ВЕНТ}}} = \frac{0,9 \cdot 266,1}{\frac{1}{0,575/627,7 + 1/333,9} + 20} = \frac{239,5}{275,7} = 0,87$$

$^{\circ}\text{C}; (33)$

где: $\Omega^{\text{МАКС}}$ - коэффициент прерывистости по Приложению 20 при отношении $m/T=m/(n+m)=8/12=16/24$ $\Omega^{\text{МАКС}}=0,575$;

$\sum Y_i A_i$ - показатель теплоусвоения помещения,

$$\sum Y_i A_i = Y_{\text{НС}} \cdot A_{\text{НС}} + Y_{\text{ИТ}} \cdot A_{\text{ИТ}} + Y_{\text{ПЕР}} \cdot A_{\text{ПЕР}} + Y_{\text{ОК}} \cdot A_{\text{ОК}} + Y_{\text{ПЛ}} \cdot A_{\text{ПЛ}} =$$

$$= 13,28 \cdot 6,75 + 14,36 \cdot 8,14 + 12,22 \cdot 27,40 + 2,98 \cdot 3 + 9,51 \cdot 8,14 = 627,7 \text{ Вт/°C}; \quad (34)$$

α_B - средний коэффициент теплообмена на внутренних поверхностях ограждений, в соответствии с рекомендациями [7] принимается равным $6,25 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$.

$\alpha_B \sum A_i$ - показатель теплообмена в помещении,

$$\alpha_B \sum A_i = 6,25 \cdot (6,75 + 8,14 + 27,40 + 3 + 8,14) = 333,9 \text{ Вт/°C}.$$

$P_{\text{ВЕНТ}}$ - показатель теплопоглощения вентиляционным воздухом,

$$P_{\text{ВЕНТ}} = 0,278 L \cdot c \rho = 0,278 \cdot 60 \cdot 1,005 \cdot 1,2 = 20 \text{ Вт/°C}.$$

где L – воздухообмен помещения, $\text{м}^3/\text{ч}$, в примере можно принять $60 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{чел}$. Считаем, что в рассматриваемом помещении находится 1 человек;

c – теплоемкость воздуха, $1,005 \text{ кДж/кг}$;

ρ – плотность воздуха в помещении, $1,2 \text{ кг/м}^3$.

Так как полученная амплитуда колебаний температуры помещения меньше допускаемой ($0,87 < 1,5$), отопление пропусками в принятом режиме допустимо.

В случае превышения колебаний температуры воздуха в помещении над допустимой амплитудой расчет повторяется при увеличенном числе топок за сутки, но сохраненном соотношении между m и n .

7.2. Расчет на ЭВМ нестационарного теплового режима наружной стены по программе HTS

Требуется определить время остывания внутренней поверхности наружной стены до 0°C после внезапного отключения отопления при расчетных наружных условиях ($t_H = t_5^{0.92} = -31^{\circ}\text{C}$). Расчет выполняется на ЭВМ.

7.2.1. Постановка задачи об остывании стены после отключения отопления

Считаем, что после отключения отопления прекращается поступление теплового потока на внутреннюю поверхность наружной стены, то есть тепловой поток на внутренней поверхности $Q_{в.п}=0$. Сформулируем математическую запись задачи.

Пусть в стене M слоев. Пронумеруем их от наружного к внутреннему: $1, 2, \dots, m, \dots, M$. Внутри каждого однородного слоя наружной стены процесс описывается уравнением теплопроводности:

$$c_m \cdot \rho_m \frac{dt(x, z)}{dz} = \lambda_m \frac{d^2 t(x, z)}{dx^2}$$

где: c_m, ρ_m, λ_m - удельная теплоемкость, плотность, коэффициент теплопроводности каждого m -того слоя;

$t(x, z)$ - температура, меняющаяся по толщине слоя и во времени;

x - текущая координата;

z - текущее время;

m - номер рассматриваемого слоя.

На стыках слоев задается равенство температур и тепловых потоков (граничное условие IV рода):

$$\begin{aligned} t_{m-1} &= t_m \\ \lambda_{m-1} \frac{dt_{m-1}}{dx} &= \lambda_m \frac{dt_m}{dx}, \end{aligned}$$

где $m-1, m$ - номера стыкующихся слоев.

На наружной поверхности стены учитывается теплообмен этой поверхности с наружным воздухом (граничное условие III рода):

$$-\lambda_1 \frac{dt_1}{dx} = \alpha_H (t_H - t_1),$$

где α_H - коэффициент теплообмена на наружной поверхности стены,

t_H - температура наружного воздуха, которая на протяжении процесса остывания стены остается постоянной и равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью $0,92 t_5^{92}, ^{\circ}\text{C}$, по п.1.1.

$t_H = -31^{\circ}\text{C}$;

На внутренней поверхности стены, как уже говорилось, задается отсутствие теплового потока:

$$\frac{dt_m}{dx} = 0$$

В качестве начальных условий принимаем распределение температуры в стенке в стационарных условиях при постоянных температурах наружного t_H и внутреннего t_B воздуха.

Так как описание задачи относится к случаю одномерной теплопередачи, а в реальной стене имеющиеся металлические связи создают в стене неоднородное температурное поле, для их учета принимаем фиктивные значения теплопроводности λ_{ϕ} , Вт/(м $^{\circ}\text{C}$), увеличенными с помощью известного коэффициента теплотехнической однородности конструкции g : $\lambda_{\phi} = \lambda / g$, где λ - фактическая теплопроводность материала слоя, Вт/(м $^{\circ}\text{C}$).

7.2.2. Решение задачи.

Сначала стенка разбивается на слои толщиной 1 см и определяются начальные условия - начальные температуры в каждом элементарном слое толщиной 1 см..

Затем методом конечных разностей по неявной схеме определяются температуры в каждом элементарном слое с шагом по времени, равным 1 часу (неявная схема не требует жесткой связи между шагами по времени и по координате).

7.2.3. Инструкция по заполнению исходными данными меню программы HTS.

Заполнение меню программы выполняется в следующей последовательности:

- введите последовательно данные по всем слоям наружной стены, причем теплопроводности материалов слоев следует принять фиктивными (λ/r);
- задайте температуры наружного и внутреннего воздуха;
- задайте температуру внутренней поверхности ограждения (0°C);
- задайте коэффициенты теплообмена;
- нажмите расчёт.
- для проверки введённых данных, просмотра результатов расчёта и распечатки нажмите «Результаты расчёта». При правильно выбранном числе точек и времени расчёта будет видно пересечение линий температуры внутреннего воздуха и нуля.

Пример заполнения меню приведен на рис.11

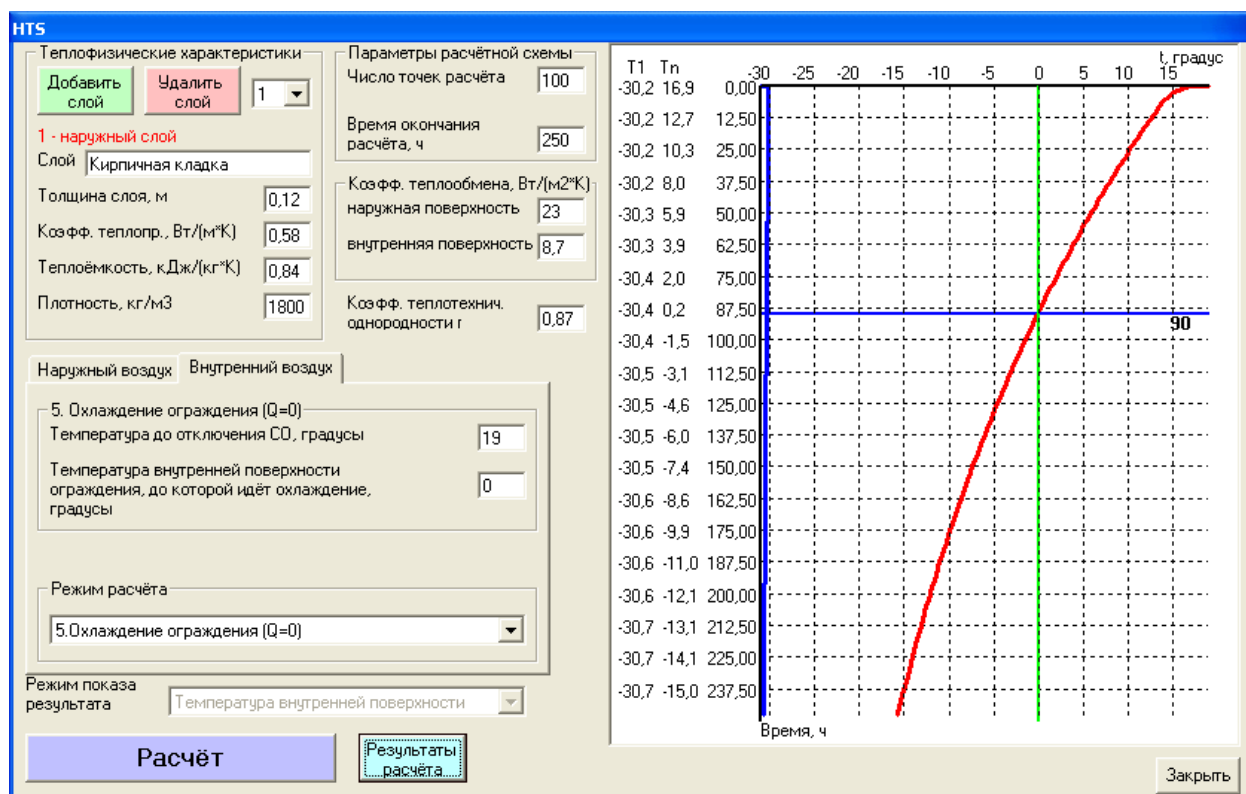


Рис. 11. Пример заполнения меню программы HTS

Ниже представлен вид получаемой распечатки с исходными данными и результатами такого расчета.

Нестационарная теплопередача

Иванов Иван Иванович
ТГВ-III-7

Исходные данные

Параметры расчётной схемы:

Число точек расчёта 100
Время окончания расчёта, ч 250

Коефф. теплообмена, Вт/(м²·К)

наружная поверхность 23
внутренняя поверхность 8,7

Характеристика ограждения:

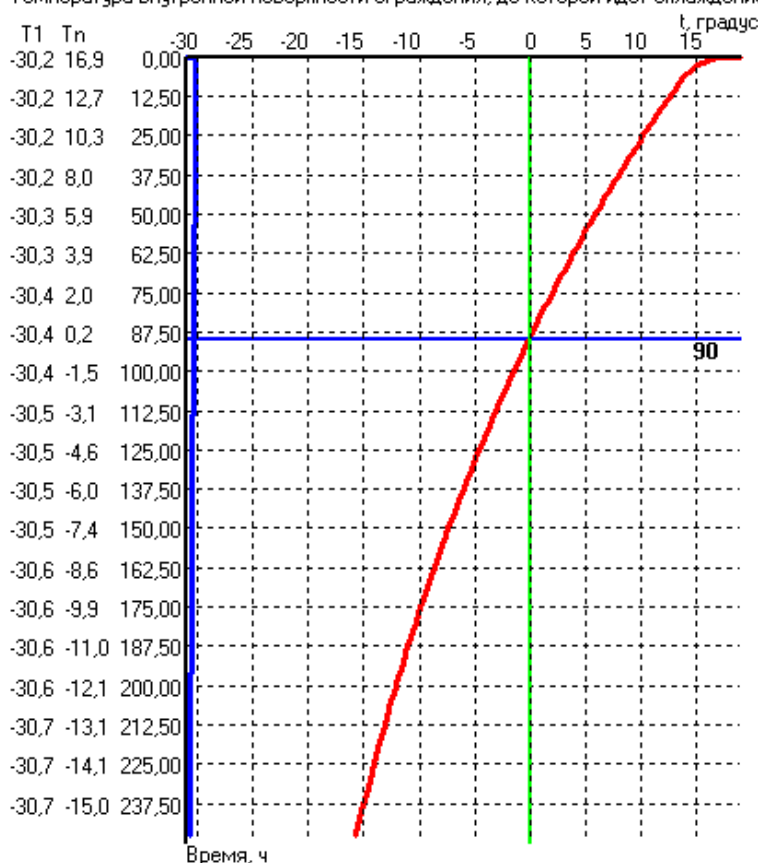
Число слоёв ограждения: 4
Коэффициент теплотехнической однородности, τ 0,87

Наименование слоя	Толщина м	Теплопроводность (λ) Вт/м	Уд. теплоёмк. кДж/(кг·К)	Плотность кг/м³
1. Кирпичная кладка	0,12	0,58 (0,667)	0,84	1800
2. Утеплитель	0,15	0,064 (0,074)	0,84	125
3. Кирпичная кладка	0,22	0,7 (0,805)	0,84	1800
4. Штукатурка	0,02	0,76 (0,874)	0,84	1800

Результаты расчёта

Режим расчёта температуры наружного воздуха: 1. $T = \text{const}$
Температура воздуха, градусы -31

Режим расчёта температуры внутреннего воздуха: 5. Охлаждение ограждения ($Q=0$)
Температура до отключения СО, градусы 19
Температура внутренней поверхности ограждения, до которой идёт охлаждение, градусы 0



7.2.4. Анализ результатов

Выполненный расчет свидетельствует о том, что за 50 часов стена не остывает до 0°C. Значит, времени для ремонта системы отопления достаточно.

8. Расчет теплового режима помещения

8.1. Определение температуры потолочной панели отопления, возмещающей теплотери помещения. Расчет выполним для помещения 206.

8.1.1. Теплоотдача панели равна:

$$Q_{\Pi} = A_{\Pi} (\alpha_K (\tau_{\Pi} - t_B) + \alpha_L (\tau_{\Pi} - \tau_B)), \text{ Вт} \quad (35)$$

где: A_{Π} - площадь отопительной панели, м^2 ;

α_K, α_L - коэффициенты конвективного и лучистого теплообмена на панели, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;

τ_{Π} - температура панели, $^\circ\text{C}$;

t_B - температура воздуха помещения, $^\circ\text{C}$;

τ_B - усредненная температура наружных ограждений, $^\circ\text{C}$.

8.1.2. Принимая теплоотдачу панели, равной теплопотерям помещения, выразим температуру панели из вышеприведенной формулы:

$$\tau_{\Pi} = \frac{Q_{\text{ПОМ}} / A_{\Pi} + \alpha_K t_B + \alpha_L \tau_B}{\alpha_K + \alpha_L};$$

где t_B - усредненная температура, $^\circ\text{C}$, наружных ограждений:

$$\tau_B = \frac{A_{\text{H.C.}} \cdot \tau_{\text{H.C.}} + A_{\text{ОК}} \cdot \tau_{\text{ОК}}}{A_{\text{H.C.}} + A_{\text{ОК}}} = \frac{(9,8 - 3) \cdot 17,1 + 3 \cdot 5,11}{9,8} = 13,43 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (36)$$

здесь $t_{\text{ОК}}$ - температура окна рассчитывается по формуле:

$$\tau_{\text{ОК}} = t_B - \frac{R_B}{R_{\text{О,ОК}}} (t_B - t_H) = 19 - \frac{1/8}{0,45} (19 - 31) = 5,11 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

где R_B – сопротивление теплоотдаче на внутренней поверхности окна, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$:

$$R_B = 1/\alpha_B = 1/8 = 0,125, \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

где α_B - коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности окна, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ принят в соответствии с [2] табл. 7 или Приложением 1.7.: $\alpha_B = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

8.1.3. Принимаем температуру панели, равной $\tau_{\Pi} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$, тогда коэффициент конвективной теплоотдачи поверхности панели равен:

$$\alpha_{K,i} = 1,16 \sqrt[3]{\tau_{\Pi} - t_B + 60 V_B^2 / h} = 1,16 \sqrt[3]{25 - 19 + 60 \cdot 0,2^2 / 2,9} = 2,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

где: V_B - подвижность воздуха в помещении, $V_B = 0,2 \text{ м/с}$;

h – определяющий размер (длина) панели, вдоль которой проявляется подвижность, м. Длина панели равна $h = 3,0 - 2 \cdot 0,05 = 2,9 \text{ м}$ ($3,0 \text{ м}$ – размер панели в осях перегородок – рис. 10);

Коэффициент лучистой теплоотдачи поверхности панели:

$$\alpha_L = 4,88 \cdot \Phi \cdot b,$$

где b – коэффициент линеаризации

$$b = 0,81 + 0,005(\tau_{\Pi} + \tau_B) = 0,81 + 0,005(25 + 13,43) = 1,0022$$

Φ – коэффициент полной облученности

$$\Phi = \frac{A_B / A_{\Pi} - \varphi_{\Pi-B}^2}{A_B / A_{\Pi} - 2\varphi_{\Pi-B} + 1} = \frac{9,8/8,1 - 0,22^2}{9,8/8,1 - 2 \cdot 0,22 + 1} = 0,66 \quad (38)$$

где: $\varphi_{\Pi-B}$ - коэффициент облученности наружного ограждения (наружной стены с окном) с панели [6] рис.1.12 стр.21. или Приложение 21 рис П21- 1. при $a/c = 2,9/2,67 = 1,10$ $b/c = 3,0/2,67 = 1,12$ $\varphi_{\Pi-B} = 0,22$

$$\alpha_{\text{Л}} = 4,88 \cdot \Phi \cdot b = 4,88 \cdot 0,66 \cdot 1,0022 = 3,23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) .$$

Температура панели равна:

$$\tau_{\text{П}} = \frac{Q_{\text{ПОМ}} / A_{\text{П}} + \alpha_{\text{К}} t_{\text{В}} + \alpha_{\text{Л}} \tau_{\text{В}}}{\alpha_{\text{К}} + \alpha_{\text{Л}}} = \frac{609,9 / 8,1 + 2,2 \cdot 19 + 3,23 \cdot 13,43}{2,2 + 3,23} = 29,55^\circ\text{C}.$$

Так как полученное значение температуры панели отличается от предположенного больше, чем на 2°C , расчет продолжаем, принимая температуру панели, равной полученной.

Тогда коэффициент конвективной теплоотдачи равен:

$$\alpha_{\text{К},i} = 1,16 \sqrt[3]{\tau_{\text{П}} - t_{\text{В}} + 60 V_{\text{В}}^2 / h_{\text{П}}} = 1,16 \sqrt[3]{29,55 - 19 + 60 \cdot 0,2^2 / 2,9} = 2,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Коэффициент лучистой теплоотдачи $\alpha_{\text{Л}} = 4,88 \cdot \Phi \cdot b$ при коэффициенте линеаризации разности температуры:

$$b = 0,81 + 0,005(\tau_{\text{П}} + \tau_{\text{В}}) = 0,81 + 0,005(29,55 + 13,43) = 1,025$$

$$\alpha_{\text{Л}} = 4,88 \cdot \Phi \cdot b = 4,88 \cdot 0,66 \cdot 1,025 = 3,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Температура панели равна:

$$\tau_{\text{П}} = \frac{Q_{\text{ПОМ}} / A_{\text{П}} + \alpha_{\text{К}} t_{\text{В}} + \alpha_{\text{Л}} \tau_{\text{В}}}{\alpha_{\text{К}} + \alpha_{\text{Л}}} = \frac{609,9 / 8,1 + 2,6 \cdot 19 + 3,3 \cdot 13,43}{2,6 + 3,3} = 28,65^\circ\text{C}.$$

Теперь полученное значение температуры панели отличается от предположенного меньше, чем на 2°C , поэтому расчет считаем законченным.

Ниже приведен расчет на ЭВМ более широкой задачи, чем была выполнена в этом разделе. Отличием постановки задачи и решения являются: во-первых, в качестве основной задаваемой температуры в машинном расчете принимается температура помещения [6] (результатирующая [3]), а в ручном температура воздуха; во-вторых, в машинном расчете решается полная система уравнений лучисто-конвективного теплообмена, а в ручном все ограждения разделены на три категории; наружные, внутренние и отопительная панель. При этом лучистый теплообмен панели с внутренними ограждениями рассчитывается упрощенно: с помощью полного коэффициента облученности с панели на наружное ограждение. Этим объясняется некоторое расхождение в результатах расчета.

8.2. Расчет на ЭВМ температурной обстановки и теплопотерь помещения при различных системах отопления

8.2.1. Постановка задачи при расчете на ЭВМ

На ЭВМ рассчитывается теплопотери помещения при различных системах отопления: радиаторной, конвекторной, воздушной, панельной потолочной и панельной напольной, при условии поддержания во всех случаях одинаковой температуры помещения $t_{\text{П}}$, $^\circ\text{C}$. При этом рассчитываются усредненная в объеме помещения температура воздуха $t_{\text{В}}$, $^\circ\text{C}$, и температуры на внутренних поверхностях всех ограждений и мебели (оборудования) τ_i , $^\circ\text{C}$, в том числе температуры на поверхностях панелей отопления, необходимые для поддержания заданной $t_{\text{П}}$ в стационарных условиях. Температура помещения считается средней между температурами воздуха и радиационной:

$$t_{\text{П}} = \frac{t_{\text{В}} + t_{\text{Р}}}{2},$$

а радиационная, как средневзвешенная по площадям температура внутренних поверхностей, обращенных в помещение (то есть внутренних поверхностей наружных и внутренних ограждений и мебели):

$$t_B = \frac{\sum \tau_i \cdot F_i}{\sum F_i}$$

где A_i - площади обращенных в помещение поверхностей, m^2 . Площадь мебели в расчете принята равной половине суммы площадей всех ограждений.

В расчет заложено, что воздушная система отопления всю теплоту привносит в помещение конвективным путем, доля конвективной составляющей у конвекторной системы $\rho_K = 0,9$ (лучистой $\rho_L = 0,1$), у радиаторной $\rho_K = 0,7$ (лучистой $\rho_L = 0,3$), у панельных систем и $\rho_K = 0$ и $\rho_L = 0$, так как панели привносят теплоту в процессе лучисто-конвективного теплообмена между рассматриваемыми поверхностями помещения, а поверхности радиаторов и конвекторов в данной задаче не учитываются.

Во всех случаях тепловой режим помещения описан одной и той же системой уравнений, состоящей из тепловых балансов внутренних поверхностей и теплового баланса воздуха помещения (по однозонной модели, без учета возможного отличия температуры воздуха в отдельных зонах от средней величины).

В тепловом балансе каждой поверхности, обращенной в помещение, учитывался лучистый теплообмен ограждений друг с другом и конвективный каждого из них с воздухом помещения. Учитывался так же падающий лучистый поток от внутренних источников (например, от приборов отопления) и теплообмен с наружной средой и другими помещениями, имеющими отличную температуру от поддерживаемой в рассматриваемом, который вычислялся с помощью неполного (без учета сопротивления теплообмену на внутренней поверхности) коэффициента теплопередачи k ($k = 1 / (1/\alpha_H + \sum (\delta_m / \lambda_m))$), M - число слоёв в ограждении):

$$k_j (t_{H,j} - \tau_j) + \sum_{i \neq j} \alpha_{L,j-i} (\tau_i - \tau_j) + \alpha_{K,j} (t_B - \tau_j) + Q_{L,j} = 0$$

в тепловом балансе воздуха помещения учитывался конвективный теплообмен каждой поверхности с воздухом, конвективная часть теплоступлений от внутренних источников и теплотери от инфильтрации наружного воздуха:

$$\sum_i \alpha_{K,i} (t_B - \tau_i) \cdot F_i + Q_K - Q_{ИНФ} = 0,$$

где: j - индекс, относящий величину к рассматриваемой поверхности;

i - индекс, относящий величину к одной из окружающих рассматриваемую поверхностей;

I - число всех поверхностей в помещении, $i=1,2,...,I$;

$t_{H,j}$ - температура за рассматриваемым ограждением (наружная или другого помещения), $^{\circ}C$;

$\alpha_{L,j-i}$ - коэффициенты лучистого теплообмена между рассматриваемой поверхностью и любой другой, $Вт/(м^2 \cdot ^{\circ}C)$;

$\alpha_{K,j}$ - коэффициенты конвективного теплообмена на рассматриваемой поверхности, $Вт/(м^2 \cdot ^{\circ}C)$;

$Q_{L,j}$ - лучистые теплоступления от внутренних источников на

рассматриваемую поверхность, $Вт$. Так как в нашем расчете учитывались теплоступления только от системы отопления, то для данного случая

$$Q_{Л,j} = \frac{Q_{П} \cdot \rho_{Л} \cdot A_j}{\sum A_i};$$

$Q_{Т.П.}$ - теплопотери помещения за счет теплопередачи через все ограждения, Вт, определявшиеся по формуле:

$$Q_{Т.П.} = \sum_n^N k_n \cdot (t_{H,n} - \tau_n) \cdot A_n$$

n - индекс, относящий величину к поверхности наружного ограждения или внутреннего, за которым помещение с отличной от рассматриваемого температурой;

N - число наружных или внутренних ограждений, за которыми температура отличается от температуры помещения.

Q_K - конвективные тепlopоступления в помещение от системы отопления, Вт,

$$Q_K = Q_{П} \cdot \rho_K$$

$Q_{ИНФ}$ - теплопотери за счет инфильтрации, Вт;

$Q_{П}$ – теплоотдача системы отопления, равная суммарным теплопотерям помещения, Вт:

$$Q_{П} = Q_{Т.П.} + Q_{ИНФ.}$$

Решение системы уравнений тепловых балансов для всех внутренних поверхностей, а так же для воздуха помещения выполнялось итерационным методом, на каждом шаге которого уточнялись коэффициенты конвективного и лучистого теплообмена с учетом разности температур между теплообменивающимися средами, положения ограждения в пространстве (вертикальное, горизонтальное), направления теплового потока (вверх или вниз от охлажденной или нагретой по сравнению с воздухом поверхностью) и общей подвижности воздуха в помещении. При расчете коэффициентов лучистого теплообмена вычислялись коэффициенты взаимной облученности всех ограждений и приведенные относительные коэффициенты излучения каждой пары поверхностей. Таким образом, коэффициент лучистого теплообмена определялся по формуле:

$$\alpha_{Л,j-i} = C_0 \cdot \left\{ \left(\frac{T_j}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_i}{100} \right)^4 \right\} \cdot \varphi_{j-i} \cdot \varepsilon_{j-i}$$

где: C_0 - постоянная Больцмана, равная $5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$;

T_j, T_i - температуры (по абсолютной шкале) поверхностей, участвующих в теплообмене, К;

φ_{j-i} - коэффициент облученности с поверхности j на поверхность i, вычислявшийся с использованием геометрических законов излучения (взаимности, замкнутости, распределительности) и базовых формул

- для расчета коэффициентов облученности между двумя одинаковыми прямоугольниками, расположенными в параллельных плоскостях друг против друга (рис.12. а) (a, b - стороны прямоугольников, м, h - расстояние между ними, $x=b/h$, $y=a/h$, $z = 1+x^2$, $w = 1+y^2$):

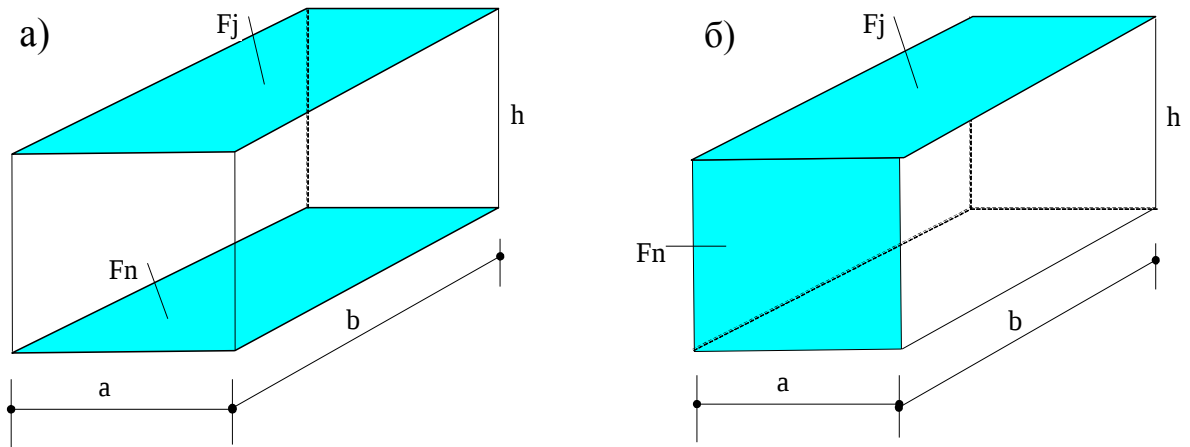


Рис. 12. Расположение поверхностей: а) в параллельных плоскостях друг против друга; б) в перпендикулярных плоскостях с общей гранью

$$\varphi_{j-i} = 2/(\pi * x * y) * (0,5 * \ln(z * w / (z + w - 1)) + y * \sqrt{z} * a \tan(y/\sqrt{z}) + x * \sqrt{w} * a \tan(x/\sqrt{w}) - y * \arctg(y) - x * \arctg(x))$$

- для расчета коэффициентов облученности между двумя прямоугольниками, расположенными в перпендикулярных плоскостях с общей гранью (рис.12. б)) (а-общая грань, м, b-сторона j-го прямоугольника, м, h-сторона i-го прямоугольника, м):

$$\varphi_{j-i} = (1/\pi) * (\arctg(a/b) + (h/b) * \arctg(a/h) - \sqrt{1 + h^2/b^2} * \arctg(a/\sqrt{b^2 + h^2}) - 0,25(a/b) * \ln((a^2 + b^2 + h^2) * a^2 / ((a^2 + b^2) * (a^2 + h^2))) + 0,25(b/a) * \ln((a^2 + b^2 + h^2) * b^2 / ((b^2 + h^2) * (a^2 + b^2))) + 0,25h^2/(a * b) * \ln((a^2 + b^2 + h^2) * h^2 / ((a^2 + h^2) * (b^2 + h^2)))) ,$$

здесь $\pi = 3,14159265$.

- для расчета коэффициентов облученности с окна на пол, потолок и стены, расположенные в перпендикулярных к окну плоскостях

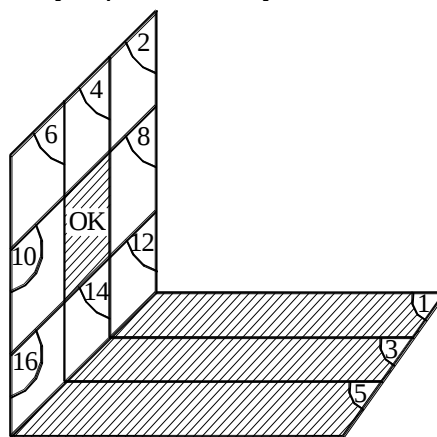


Рис. 13. Схема расположения окна по отношению к поверхностям в перпендикулярных плоскостях

$$\varphi_{OK-(1+3+5)} = \frac{1}{2F_{OK}} \left[\varphi_{(1+3)-(12+8+14+OK)} (F_1 + F_3) + \varphi_{(5+3)-(16+10+14+OK)} (F_5 + F_3) - \varphi_{(1+3)-(12+14)} (F_1 + F_3) - \varphi_{(5+3)-(16+14)} (F_5 + F_3) - \varphi_{1-(12+8)} F_1 - \varphi_{5-(16+10)} F_5 + \varphi_{1-12} F_1 + \varphi_{5-16} F_5 \right].$$

- для расчета коэффициентов облученности с окна на стены, расположенные в параллельных к окну плоскостях

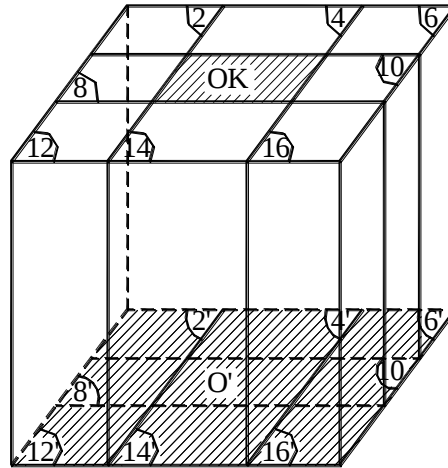


Рис.14. Схема расположения окна по отношению к поверхностям в параллельных плоскостях

$$\begin{aligned} \varphi_{OK-(o'+2'+4'+6'+8'+10'+12'+14'+16')} = \\ = \frac{1}{4F_{OK}} \{ \varphi_{(OK+4+6+10)-(o'+4'+6'+10')} (F_{OK} + F_4 + F_6 + F_{10}) - \varphi_{(6+10)-(6'+10')} (F_6 + F_{10}) - \\ - \varphi_{(4+6)-(4'+6')} (F_4 + F_6) + \varphi_{6-6'} F_6 + \\ + \varphi_{(OK+4+2+8)-(o'+4'+2'+8')} (F_{OK} + F_4 + F_2 + F_8) - \varphi_{(2+8)-(2'+8')} (F_2 + F_8) - \\ - \varphi_{(4+2)-(4'+2')} (F_4 + F_2) + \varphi_{2-2'} F_2 + \\ + \varphi_{(OK+14+16+10)-(o'+14'+16'+10')} (F_{OK} + F_{14} + F_{16} + F_{10}) - \varphi_{(16+10)-(16'+10')} (F_{16} + F_{10}) - \\ - \varphi_{(14+16)-(14'+16')} (F_{14} + F_{16}) + \varphi_{16-16'} F_{16} + \\ + \varphi_{(OK+14+12+8)-(o'+14'+12'+8')} (F_{OK} + F_{14} + F_{12} + F_8) - \varphi_{(12+8)-(12'+8')} (F_{12} + F_8) - \\ - \varphi_{(14+12)-(14'+12')} (F_{14} + F_{12}) + \varphi_{12-12'} F_{12} \}. \end{aligned}$$

ε_{j-i} - приведенный коэффициент излучения с поверхности j на поверхность i , определяемый по формуле $\varepsilon_{j-i} = \varepsilon_j - \varepsilon_i$,

где: $\varepsilon_j, \varepsilon_i$ - относительные коэффициенты излучения поверхностей j и i , в программе заложено, что по умолчанию задаются следующие значения относительных коэффициентов излучения: потолок (побелка)-0.62, пол (масляная краска, дерево)-0.81, стены (штукатурка)-0.92, окна (стекло)-0.94. При желании можно ввести другие, соответствующие расчетному варианту коэффициенты.

Как промежуточный результат в качестве коэффициента лучистого теплообмена на печать выводятся суммы:

$$\alpha_{L,j} = \sum_i \alpha_{L,j-1} = \sum C_0 \cdot \left\{ \left(\frac{T_j}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_i}{100} \right)^4 \right\} \cdot \varphi_{j-i} \cdot \varepsilon_{j-i}$$

Коэффициенты конвективного теплообмена рассчитывались следующим образом:

$$\alpha_{K,i} = A \sqrt{t_B - \tau_i + 60 V_B^2 / h}, \text{ Bm/m}^2 \cdot ^\circ\text{C},$$

где: A - коэффициент, учитывающий влияние положения теплообменивающейся поверхности и направления теплового потока на интенсивность теплообмена:

для вертикальных ограждений $A=1,66$; для горизонтальных, обращенных вверх (полов), теплее воздуха $A=2,16$, холоднее - $A=1,16$; для горизонтальных, обращенных вниз (потолков), теплее воздуха $A=1,16$, холоднее - $A=2,16$;

V_B - подвижность воздуха помещения, в программе по умолчанию задано $V_B=0,2$ м/с;

h – определяющий размер (длина) панели, м.

8.2.2. Инструкция по заполнению исходных данных в меню программы

Темп

- задайте геометрические размеры помещения и окон;
- задайте температуру внутреннего и наружного воздуха;
- выберите типы стен, пола и потолка. Принятые буквенные обозначения типа ограждения приведены в табл.7

:Таблица 7

Потолок	Пол	Другие ограждения
а- бесчердачн.покрытие	j-над неотапливаемым подвалом с окнами	р-наружная стена
б- чердачное перекрытие	е-то же без окон выше уровня земли	г-внутренняя стена (за ней помещение с другой температурой)
с-междуэтажное перекрытие (за ним помещение с другой температурой)	к-то же ниже уровня земли,	и-внутренняя стена (за ней помещение с такой же температурой)
д-междуэтажное перекрытие (за ним помещение с такой же температурой)	f-по грунту,	w-окно
і-отопительная панель, на весь потолок	g-по лагам	у-потолочная отопительная панель, занимающая часть потолка
	h-на междуэтажном перекрытии (за ним помещение с другой температурой)	
	т-на междуэтажном перекрытии (за ним помещение с такой же температурой)	

- задайте количество окон, его ширину, расстояния от левого угла помещения до окна и между окнами;
- задайте коэффициенты теплопередачи наружных ограждений;
- для перехода к расчету нажмите «Расчёт».
- для проверки введенных данных, просмотра результатов расчёта и распечатки нажмите «Результаты расчёта».

Заполнение исходных данных выполняется в соответствии с Рис.15.

№ стены	Число окон в стене	Расстояние от левого угла стены до окна, м	Ширина окна, м	Расстояние между окнами м
3	1	0,7	1,5	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0

Коэффициенты облученности с поверхности на поверхность

С поверх- ности	1	2	3	4	5	6	7
1	0,00000	0,18051	0,12001	0,19637	0,21338	0,19637	0,09337
2	0,18051	0,00000	0,15746	0,19637	0,21338	0,19637	0,05592
3	0,16303	0,21389	0,00000	0,20506	0,21295	0,20506	0,00000
4	0,18982	0,18982	0,14592	0,00000	0,21358	0,19321	0,06765
5	0,18991	0,18991	0,13952	0,19664	0,00000	0,19664	0,08739
6	0,18982	0,18982	0,14592	0,19321	0,21358	0,00000	0,06765
7	0,24098	0,14434	0,00000	0,18063	0,25342	0,18063	0,00000

Коэффициенты лучистой [конвективной] теплоотдачи, Вт/(м²·°C)

Системы отопления

воздушная	конвекторная	радиаторная	потолочная	напольная
4,60 [3,07]	4,61[2,95]	4,63[2,63]	4,85[2,51]	4,66[1,15]
4,41 [1,68]	4,42[1,60]	4,44[1,38]	4,49[2,61]	4,61[4,37]
4,65 [2,77]	4,66[2,70]	4,68[2,53]	4,72[2,05]	4,72[2,19]
4,68 [2,38]	4,69[2,27]	4,71[2,00]	4,76[2,04]	4,74[1,75]
4,67 [2,41]	4,68[2,31]	4,70[2,05]	4,76[1,98]	4,74[1,68]
4,68 [2,38]	4,69[2,27]	4,71[2,00]	4,76[2,04]	4,74[1,75]
4,51 [4,09]	4,52[4,06]	4,53[4,01]	4,59[3,85]	4,55[3,93]

Наименование ограждения	Температура, °C, поверхностей при отоплении					Площадь, м ²
	воздушном	конвекторном	радиаторном	потолочном	напольном	
Потолок	18,47	18,62	18,96	27,69	18,96	7,743
Пол	18,33	18,56	19,08	19,32	26,28	7,743
Наружная стена 3	16,69	16,86	17,21	17,26	17,29	5,70
Внутренняя стена 4	18,42	18,60	19,03	19,39	19,16	8,01
Внутренняя стена 5	18,30	18,48	18,90	19,26	19,01	8,70
Внутренняя стена 6	18,42	18,60	19,03	19,39	19,16	8,01
Окно	6,43	6,51	6,68	6,69	6,33	3,0
Температура воздуха, °C	20,55	20,36	19,97	18,35	18,78	
Радиационная температура, °C	17,45	17,63	18,03	19,64	19,22	
Результирующая температура, °C	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	

Теплопотери, Вт, при системах отопления

	воздушной	конвекторной	радиаторной	потолочной	напольной
суммарные	548,7	549,4	550,9	547,7	545,5
инфильтрационные	108,0	107,6	106,8	103,4	104,3
кондуктивные	440,7	441,8	444,1	444,3	441,2

8.2.4. Анализ полученных результатов:

Помещение 206 расположено на промежуточном втором этаже, рядовое, имеет одну наружную стену с одним окном. В помещении при всех системах отопления поддерживается одинаковая температура помещения $t_n=19^\circ\text{C}$. Подвижность воздуха в помещении равна 0,2 м/с. Основные результаты расчета приведены в табл.8.

Таблица 8

Системы отопления	Доля конвектив- ной тепло- отдачи ρ_K	воздуха помещени- я t_B	Температура, $^\circ\text{C}$ радиаци- онная помещения t_R	внутрен- ней поверхнос- ти стены τ_B	внутрен - поверхнос- ти окна t_{OK}	Теплопоте- ри помещения $Q_{T.П.},$ Вт
Воздушная	1	20,55	17,45	16,69	6,43	548,7
Конвектор- ная	0,9	20,36	17,63	16,86	6,51	549,4
Радиаторная	0,7	19,97	18,03	17,21	6,68	550,9
Панельная напольная	0	18,78	19,22	17,29	6,33	545,5
Панельная потолочная	0	18,35	19,64	17,26	6,69	547,7

По мере снижения конвективной составляющей ρ_K в теплоподаче отопительных приборов снижается разность между температурой воздуха помещения и радиационной температурой, что происходит в соответствии с тепловым балансом воздуха при уменьшении Q_K . Таким образом, при увеличении этой разности температура воздуха увеличивается, а радиационная температура понижается, поэтому уменьшаются и температуры наружных ограждений, а вместе с ними теплопотери. Правда, увеличение теплопотерь по мере снижения конвективной составляющей в теплоподаче в данном случае незначительно, так как сами теплопотери невелики:

Наиболее низкая температура формируется на поверхностях наружных ограждений, причем, чем больше коэффициент теплопередачи (т. е. чем меньше сопротивление теплопередаче), тем ниже температура. У окна температура самая низкая (6,33-6,69 $^\circ\text{C}$), так как $K_{OK}=2,22 \text{ Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$, у наружной стены температуры выше (16,69 - 17,29 $^\circ\text{C}$) при коэффициенте теплопередачи 0,372 $\text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$.

На температуру любой поверхности, обращенной в помещение, оказывает влияние не только температура за ограждением и его сопротивление теплопередаче, но и лучисто-конвективный теплообмен между поверхностями. Во всех случаях, кроме обогрева напольной панелью, температура потолка выше температуры внутренних стен, которая выше температуры пола, несмотря на то, что все эти ограждения являются внутренними, за которыми находятся помещения с таким же режимом, как в рассматриваемом.

На понижении температуры какой-либо поверхности внутреннего ограждения сказывается лучистый теплообмен этой поверхности с окном. Наибольший коэффициент облученности окна с противоположной окну стены 5, поэтому у нее температура на 0,15 $^\circ\text{C}$ ниже, чем у стен 4 и 6.

В рассматриваемом помещении коэффициенты облученности с каждой поверхности ограждения на окно невелики сами по себе и мало отличаются друг от друга (от 0,056 до 0,093), поэтому не столько лучистый теплообмен с окном сыграл роль в полученном распределении температур, сколько конвективный с воздухом помещения. Интересно отметить, что наименьшие коэффициенты лучистой теплоотдачи формируются на поверхности пола, что объясняется наименьшим

значением его относительного коэффициента излучения $\varepsilon=0,85$. Значит, на температуре пола в наименьшей из всех поверхностей степени сказывается лучистый теплообмен, а в большей степени на неё влияет конвективный.

Коэффициенты конвективной теплоотдачи при отоплении системами, имеющими конвективную составляющую (воздушной, конвекторной, радиаторной), формируются в условиях, когда на каждой поверхности температура ниже температуры воздуха. Для этого случая коэффициенты A в формуле для определения коэффициента конвективного теплообмена

$$\alpha_{k,i} = A^3 \sqrt{t_B - \tau_i + 60V_B^2 / h_{\text{ПОМ}}}, \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

равны: для потолка - $A=2,16$, для стен - $A=1,67$, для пола - $A=1,16$, что отражает тот факт, что на потолке самый интенсивный теплообмен с воздухом, а на полу - самый слабый (охлажденный полом воздух стелется по полу), температура потолка ближе всего к температуре воздуха, а пола - дальше. Этим и объясняется наибольшая температура потолка и наименьшая - пола. Различная интенсивность конвективного теплообмена на нагретых потолочной и напольной панелях приводит к тому, что для поддержания одной и той же температуры помещения температура потолочной панели должна быть выше температуры напольной. При потолочном отоплении теплый воздух скапливается под нагретой потолочной панелью, при напольном же - хорошо перемешивается в объеме воздуха, что в расчете учитывается величиной коэффициентов A : для пола $A=2,16$, для потолка - $1,16$.

Роль лучистого теплообмена при панельном отоплении проявляется в том, что почти все поверхности, обращенные в помещение, имеют более высокую температуру, чем при системах с большой долей конвективной составляющей. Исключение составляет напольное отопление, при котором на поверхности окна сформировалась наиболее низкая температура.

Наличие охлаждающего конвективного потока, вносимого инфильтрационным воздухом, формирует при лучистом отоплении температуру воздуха ниже радиационной. При конвективном отоплении конвективный поток от системы отопления больше теплотеря за счет инфильтрации, и температура воздуха выше радиационной. Так как в рассматриваемых примерах для всех способов отопления считался одинаковым инфильтрационный расход воздуха $7,5 \text{ кг/ч}$, то в результате различной температуры воздуха при разных системах отопления различна потребность в теплоте на нагревание инфильтрационного воздуха.

Иллюстрация результатов расчета стационарного теплового режима помещения №206

Воздушная с.о. $Q_{Т.П.} = 548,7$

$t_{HC} = 16,69$	$t_{ПТ} = 18,47$
$\alpha_{K,HC} = 2,77$	$\alpha_{K,ПТ} = 3,07$
$\alpha_{Л,HC} = 4,65$	$\alpha_{Л,ПТ} = 4,60$
$t_B = 20,55$	
$t_R = 17,45$	
$t_{OK} = 6,43$	$t_{BC} = 18,3$
$\alpha_{K,OK} = 4,09$	$\alpha_{K,BC} = 2,41$
$\alpha_{Л,OK} = 4,51$	$\alpha_{Л,BC} = 4,67$
$t_{ПЛ} = 18,33$	
$\alpha_{K,ПЛ} = 1,68$	$\alpha_{Л,ПЛ} = 4,41$

Условные обозначения:

$\alpha_{Л}, \alpha_{K}$ - коэффициенты лучистой и конвективной теплоотдачи на поверхностях, Вт/(м²·°C);

$Q_{Т.П.}$ - теплопотери помещения за счет теплопередачи, Вт;

t_B, t_R - температура воздуха и радиационная в помещении, °C;

$t_{ПТ}, t_{ПЛ}, t_{HC}, t_{BC}, t_{OK}$ - температура внутренних поверхностей потолка, пола, наружной сены, внутренней стены, окна, °C;

с.о. – система отопления.

Конвекторная с.о. $Q_{Т.П.} = 549,4$

$t_{HC} = 16,86$	$t_{ПТ} = 18,62$
$\alpha_{K,HC} = 2,7$	$\alpha_{K,ПТ} = 2,95$
$\alpha_{Л,HC} = 4,66$	$\alpha_{Л,ПТ} = 4,61$
$t_B = 20,36$	
$t_R = 17,63$	
$t_{OK} = 6,51$	$t_{BC} = 18,48$
$\alpha_{K,OK} = 4,06$	$\alpha_{K,BC} = 2,31$
$\alpha_{Л,OK} = 4,52$	$\alpha_{Л,BC} = 4,68$
$t_{ПЛ} = 18,56$	
$\alpha_{K,ПЛ} = 1,6$	$\alpha_{Л,ПЛ} = 4,42$

Радиаторная с.о. $Q_{Т.П.} = 550,9$

$t_{HC} = 17,21$	$t_{ПТ} = 18,96$
$\alpha_{K,HC} = 2,53$	$\alpha_{K,ПТ} = 2,63$
$\alpha_{Л,HC} = 4,68$	$\alpha_{Л,ПТ} = 4,63$
$t_B = 19,97$	
$t_R = 18,03$	
$t_{OK} = 6,68$	$t_{BC} = 18,9$
$\alpha_{K,OK} = 4,01$	$\alpha_{K,BC} = 2,05$
$\alpha_{Л,OK} = 4,53$	$\alpha_{Л,BC} = 4,7$
$t_{ПЛ} = 19,08$	
$\alpha_{K,ПЛ} = 1,38$	$\alpha_{Л,ПЛ} = 4,44$

Панельная потолочная с.о. $Q_{Т.П.} = 547,7$ Панельная напольная с.о. $Q_{Т.П.} = 545,5$

$t_{HC} = 17,26$	$t_{ПТ} = 27,69$
$\alpha_{K,HC} = 2,05$	$\alpha_{K,ПТ} = 2,51$
$\alpha_{Л,HC} = 4,72$	$\alpha_{Л,ПТ} = 4,85$
$t_B = 18,35$	
$t_R = 19,64$	
$t_{OK} = 6,69$	$t_{BC} = 19,26$
$\alpha_{K,OK} = 3,85$	$\alpha_{K,BC} = 1,98$
$\alpha_{Л,OK} = 4,59$	$\alpha_{Л,BC} = 4,76$
$t_{ПЛ} = 19,32$	
$\alpha_{K,ПЛ} = 2,61$	$\alpha_{Л,ПЛ} = 4,49$

$t_{HC} = 17,29$	$t_{ПТ} = 18,96$
$\alpha_{K,HC} = 2,19$	$\alpha_{K,ПТ} = 1,15$
$\alpha_{Л,HC} = 4,72$	$\alpha_{Л,ПТ} = 4,66$
$t_B = 18,78$	
$t_R = 19,22$	
$t_{OK} = 6,33$	$t_{BC} = 19,01$
$\alpha_{K,OK} = 3,93$	$\alpha_{K,BC} = 1,68$
$\alpha_{Л,OK} = 4,55$	$\alpha_{Л,BC} = 4,74$
$t_{ПЛ} = 26,28$	
$\alpha_{K,ПЛ} = 4,37$	$\alpha_{Л,ПЛ} = 4,61$

9. Проверка выполнения условий комфортности

Из расчета на ЭВМ температура потолочной панели в помещении 206 для поддержания в нем температуры $t_B=19^\circ\text{C}$ равна $t_n=27,69^\circ\text{C}$ (по более точному расчету на ЭВМ). Проверим первое и второе условия комфортности этого помещения при таком отоплении.

9.1. **Первое условие комфортности** связывает радиационную температуру $t_{R,q}$ относительно человека, стоящего посередине помещения, с температурой воздуха в помещении t_B :

$$t_{R,q} = 29 - 0,57t_B \pm 1,5^\circ\text{C}, \quad (39)$$

при температуре воздуха в помещении, равной $t_B=19^\circ\text{C}$, $t_{R,q}=29-0,57\cdot 19 \pm 1,5$ от $16,7$ до $19,7^\circ\text{C}$.

Фактически радиационная температура относительно человека, стоящего посередине помещения равна:

$$t_{R,q} = \varphi_{q-B} \cdot \tau_B + \varphi_{q-П} \cdot \tau_{П} + \varphi_{q-B.O} \cdot \tau_{B.O},^\circ\text{C}, \quad (40)$$

где φ_{q-B} - коэффициент облученности с человека на наружное ограждение, [6] рис.1-40, стр.86. или Приложение 22. Схема расположения человека напротив наружной стены, предусмотренная графиком, показана на рис. 16.

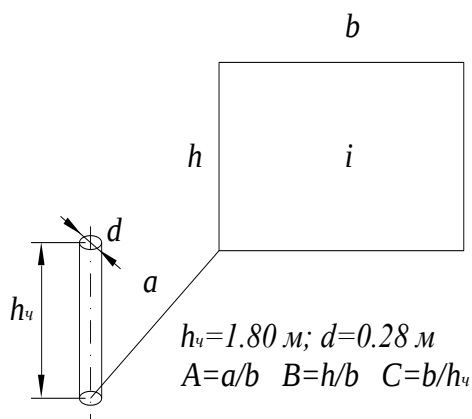


Рис. 16. Схема расположения человека и наружной стены

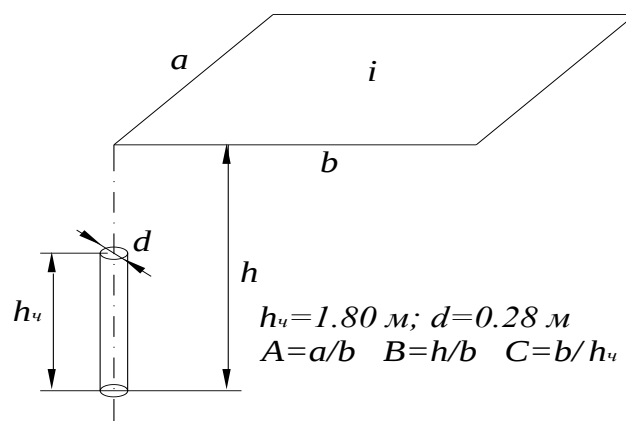


Рис. 17. Схема расположения человека под панелью

Поскольку рассматривается человек, находящийся в центре помещения, то для использования графика необходимо выполнить дополнительные расчеты:

$$a=2,67/2=1,335$$

$$b=2,9/2=1,45$$

$$\text{при } A=a/b=1,335/1,45=0,92; \quad B=h/b=3,0/1,45=2,07; \quad C=b/h_{\text{чел}}=1,45/1,8=0,81$$

$$\varphi=0,08;$$

Величина коэффициента φ_{q-B} равна удвоенному значению φ с графика: $\varphi_{q-B} = 2 \cdot \varphi = 2 \cdot 0,08 = 0,16$

τ_B - средняя температура наружного ограждения в помещении 206, $\tau_B=13,43^\circ\text{C}$;

$\varphi_{q-П}$ - коэффициент облученности с человека на панель, определяется по [6] рис. 1-40-б стр.85 или по Приложению 23. Схема расположения человека, стоящего под панелью показана на рис. 17. Использование графика, где человек находится под

углом панели, требует умножения величины коэффициента облученности с графика на 4.

При $A=a/b=1,335/1,45=0,92$; $B=h/b=3,0/1,45=2,07$; $C=b/h_{\text{чел}}=1,45/1,8=0,81$ $\varphi = 0,04$;

Величина коэффициента $\varphi_{\text{ч-П}}$ равна учетверенному значению φ с графика:

$$\varphi_{\text{ч-П}} = 4 \cdot \varphi = 4 \cdot 0,04 = 0,16,$$

$\tau_{\text{П}}$ - температура панели, $\tau_{\text{П}} = 27,69^{\circ}\text{C}$;

$\varphi_{\text{ч-В.О}}$ - коэффициент облученности с человека на внутренние ограждения,

$$\varphi_{\text{ч-В.О}} = 1 - (\varphi_{\text{ч-В}} + \varphi_{\text{ч-П}}) = 1 - (0,16 + 0,16) = 0,68;$$

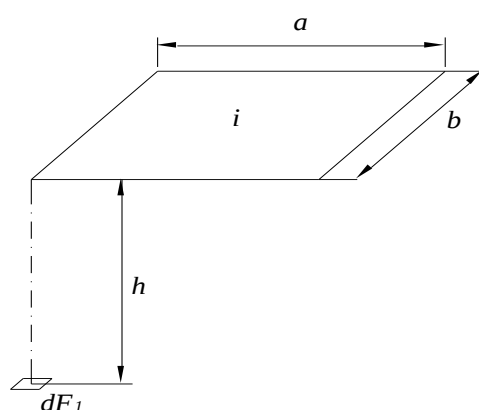
$\tau_{\text{В.О}}$ - температура внутренней поверхности внутренних ограждений, принимается равной температуре воздуха, $\tau_{\text{В.О}} = 19^{\circ}\text{C}$.

$t_{\text{Р,Ч}} = \varphi_{\text{ч-В}} \cdot \tau_{\text{В}} + \varphi_{\text{ч-П}} \cdot \tau_{\text{П}} + \varphi_{\text{ч-В.О}} \cdot \tau_{\text{В.О}} = 0,16 \cdot 13,43 + 0,16 \cdot 27,69 + 0,68 \cdot 19 = 19,5^{\circ}\text{C}$, что удовлетворяет первому условию комфортности, так как укладывается в допустимый интервал.

9.2. Второе условие комфортности ограничивает температуру нагретой поверхности допустимой величиной $\tau_{\text{П}}^{\text{ДОП}}$, $^{\circ}\text{C}$,

$$\tau_{\text{П}}^{\text{ДОП}} = 19,2 + 8,7 / \varphi_{\text{Г,Ч-П}}, \quad (41)$$

где $\varphi_{\text{Г,Ч-П}}$ - коэффициент облученности с элементарной площадки на голове



человека на нагретую панель, определяется по [6] рис. 1.9, или по Приложению 25. Схема расположения элементарной площадки под углом панели показана на рис. 18.

Для использования графика необходимо выполнить дополнительные расчеты:

$$a=2,67/2=1,335 \quad b=2,9/2=1,45 \quad h=3,0-1,8=1,2.$$

$$\text{При } b/h=1,45/1,2=1,21 \quad a/h=1,335/1,2=1,11 \quad \varphi=0,155,$$

Полученную с графика величину φ следует умножить на 4: $\varphi_{\text{Г,Ч-П}} = 0,155 \cdot 4 = 0,62$.

$$\tau_{\text{П}}^{\text{ДОП}} = 19,2 + 8,7 / 0,62 = 33,23^{\circ}\text{C}.$$

Рис. 18. Схема расположения элементарной площадки под углом панели

Так как температура на поверхности панели ниже допускаемой: $27,69 < 33,23$, то второе условие комфортности выполняется.

Список литературы

1. СНиП 23.01-99* Строительная климатология / Госстрой России.-М.: ГУП ЦПП, 2003
2. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий / Госстрой России.-М.: ФГУП ЦПП, 2004
3. ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.-М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1999
4. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий / Госстрой России.-М.: ФГУП ЦПП, 2004
5. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия / Госстрой РФ.-М.:ГУП ЦПП,1993.

6. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов. - 2-е изд., перераб и доп.-М.: Высш.школа, 1982.-415 с.
7. Е.Г.Малявина. Теплотери здания.: справочное пособие/Е.Г.Малявина. - М.:АВОК- ПРЕСС, 2007.-144 с.
8. О.Д.Самарин. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. - М.: Изд-во АСВ. - 2009. - 296 с.
9. СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование / Госстрой РФ.-М.,2003.
10. Ю.М.Варфоломеев, О.Я.Кокорин. Отопление и тепловые сети: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 480 с. – (Среднее профессиональное образование).
11. Теплотехнический расчет наружных ограждений и расчет теплового режима зданий. /Е.Г.Малявина. Задание на курсовую работу по строительной теплофизике.- М.: Изд-во МГСУ. – 2009.- 9 с.

Приложения

Приложение 1

КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ ГОРОДОВ РФ [1] табл.1, табл.2, рис. 5

№ п/п	Пункт	t_5^{92} , °C	$t_{o,п}$ (8), °C	$Z_{o,п}$ (8), сут	$t_{o,п}$ (10) , °C	$Z_{o,п}$ (10) , сут	$V_{хп}$, м/с	V (8), м/с	$t_{хм}$, °C	$e_{хм}$, гПа	$t_{A,T}$, °C	$t_{B,T}$, °C	$I_{A,T}$, кДж/кг	$I_{B,T}$, кДж/кг	A_T , °C	$V_{тп}$, м/с	P , гПа
		холодный период года									теплый период года						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Архангельск	-31	-4,4	253	-3,4	273	5,9	3,7	-12,9	2,3	19,6	24	48,6	55,3	10,9	4	1010
2	Астрахань	-23	-1,2	167	-0,3	184	4,8	4,3	-6,7	3,6	28,4	32,1	61,1	64,5	11,1	3,6	1015
3	Белгород	-23	-1,9	191	-1	209	5,9	5,3	-8,5	3,2	23,3	27,4	51,6	53,4	11,4	4,1	990
4	Брянск	-26	-2,3	205	-1,4	223	6,3	4,7	-9,1	3,1	20,4	24,7	49,8	53,2	9,7	1	990
5	Владимир	-28	-3,5	213	-2,6	230	4,5	3,4	-11,1	2,6	20,8	25	49,4	52,8	9,8	3,3	995
6	Воронеж	-26	-3,1	196	-2,2	212	5,1	4,2	-9,8	2,9	24,1	28,6	52,3	54,8	11,5	3,3	1000
7	Екатеринбург	-35	-6,8	236	-5,6	255	5	3,7	-15,5	1,8	22	25,6	48,1	51,1	10,6	4	980
8	Иваново	-30	-3,9	219	-2,9	236	4,9	4,2	-11,9	2,6	20,9	25,1	49,8	52,8	11,1	2,8	995
9	Иркутск	-36	-8,5	240	-7,3	258	2,9	2,3	-20,6	1,2	21,8	25,6	50,2	53,6	13,4	2,2	955
10	Калининград	-19	1,1	193	1,9	216	5,9	4,1	-3,1	4,4	21,2	24,7	48,6	52,8	9,3	4,3	1010
11	Калуга	-27	-2,9	210	-1,9	228	4,9	3,9	-10,1	2,8	21	25,2	50,2	53,6	10,7	1	990
12	Кемерово	-39	-8,3	231	-7,2	246	6,8	4,9	-18,8	1,4	22,7	26,8	50,2	53,2	12,9	1	990
13	Кострома	-31	-3,9	222	-3	239	5,8	4,9	-11,8	2,5	21,2	25,4	49,8	53,6	9,9	4,2	995
14	Краснодар	-19	2	149	2,8	168	3,2	2,9	-1,6	4,9	27,4	31,1	59,5	63,6	13,2	1	1010
15	Красноярск	-40	-7,1	234	-5,9	252	6,2	3,8	-18,2	1,4	22	26,2	49,4	51,9	11,1	1	980
16	Курск	-26	-2,4	198	-1,4	216	5,3	4,4	-9,3	3,1	21,6	25,8	51	53,6	10	3,5	985
17	Москва	-28	-3,1	214	-2,2	231	4,9	3,8	-10,2	2,8	22,6	26,3	49,4	54	10,5	1	995
18	Нижний Новгород	-31	-4,1	215	-3,2	231	5,1	3,7	-11,8	2,5	22,4	26,2	51,1	54,9	9,3	1	995
19	Новосибирск	-39	-8,7	230	-7,7	243	5,7	3,9	-18,8	1,4	22	26,4	50,2	54,8	11,4	1	995
20	Омск	-37	-8,4	221	-7,4	235	5,1	5	-19,0	1,4	23,3	27,7	49,4	53,6	8	3,7	995

Продолжение табл. 1																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
21	Оренбург	-31	-6,3	202	-5,4	215	5,5	4,5	-14,8	1,9	26,1	30	51,9	54,4	13,1	3,9	1000
22	Орел	-26	-2,7	205	-1,8	222	6,5	4,8	-9,7	3	21,7	25,9	49,8	53,6	11,1	3,9	990
23	Пенза	-29	-4,5	207	-3,6	222	5,6	4,8	-12,2	2,4	22,9	27	51,1	54	10,9	1	985
24	Пермь	-35	-5,9	229	-4,9	245	5,2	3,3	-17,0	1,9	21,5	25,3	50,2	53,2	10,9	1	990
25	Псков	-26	-1,6	212	-0,7	232	4,8	3,9	-7,5	3,4	21,4	24,7	48,1	51,9	10,7	3,5	1005
26	Ростов-на-Дону	-22	-0,6	171	0,2	188	6,5	4,4	-5,7	4	26,1	30	57,4	60,7	12,2	3,6	1005
27	Рязань	-27	-3,5	208	-2,6	224	7,3	4,8	-11,0	7,3	21,7	25,9	49,8	53,6	10,5	4,1	1000
28	Самара	-30	-5,2	203	-4,3	217	5,4	4	-13,5	5,4	24,6	28,5	52,8	55,3	12,8	3,2	995
29	Санкт-Петербург	-26	-1,8	220	-0,9	239	4,2	2,8	-7,8	4,2	20,5	24,6	48,1	51,5	8,2	1	1010
30	Саратов	-27	-4,3	196	-3,4	210	5,6	4,4	-11,4	5,6	25,1	29,1	53,6	56,5	11,5	4,3	1005
31	Тамбов	-28	-3,7	201	-2,7	217	4,7	4	-10,9	4,7	23,2	27,3	52,3	54,4	11,2	2,8	995
32	Тверь	-29	-3	218	-2	236	6,2	4,1	-10,5	6,2	20,6	24,8	49,4	52,8	11,1	1	995
33	Томск	-40	-8,4	236	-7,3	253	5,6	4,7	-19,1	5,6	21,7	26	49	52,8	11	1	990
34	Тула	-27	-3	207	-2,1	224	4,9	4	-19,9	4,9	21,9	26,1	50,2	53,6	11	3,4	995
35	Тюмень	-38	-7,2	225	-6,1	240	3,9	3,6	-17,4	3,9	21,6	25,8	51,5	55,3	11,3	1	1000
36	Уфа	-35	-5,9	213	-5	227	5,5	3,5	-14,9	5,5	23,3	27,3	50,7	54,4	10,7	1	990
37	Хабаровск	-31	-9,3	211	-8,1	225	5,9	5,3	-22,3	5,9	23,5	26,9	60,7	65	8,6	4,6	1000
38	Челябинск	-34	-6,5	218	-5,5	233	4,5	3	-15,8	4,5	21,7	25,9	48,1	52,3	10,7	3,2	985
39	Чита	-38	-11,4	242	-10,1	258	3,2	2,4	-26,2	3,2	22,8	26,9	49,4	53,2	14,2	1	935

* - в табл. 1 приняты следующие обозначения:

t_5^{92} , °C - температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °C, обеспеченностью 0.92,

$t_{o.п}(8)$, °C; $z_{o.п}(8)$, сут - продолжительность, сут, и средняя температура воздуха, °C, периода со средней суточной температурой воздуха $\leq 8^\circ\text{C}$,

$t_{o.п}(10)$, °C; $z_{o.п}(10)$, сут - продолжительность, сут, и средняя температура воздуха, °C, периода со средней суточной температурой воздуха $\leq 10^\circ\text{C}$,

$V_{хп}$, м/с - максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с,

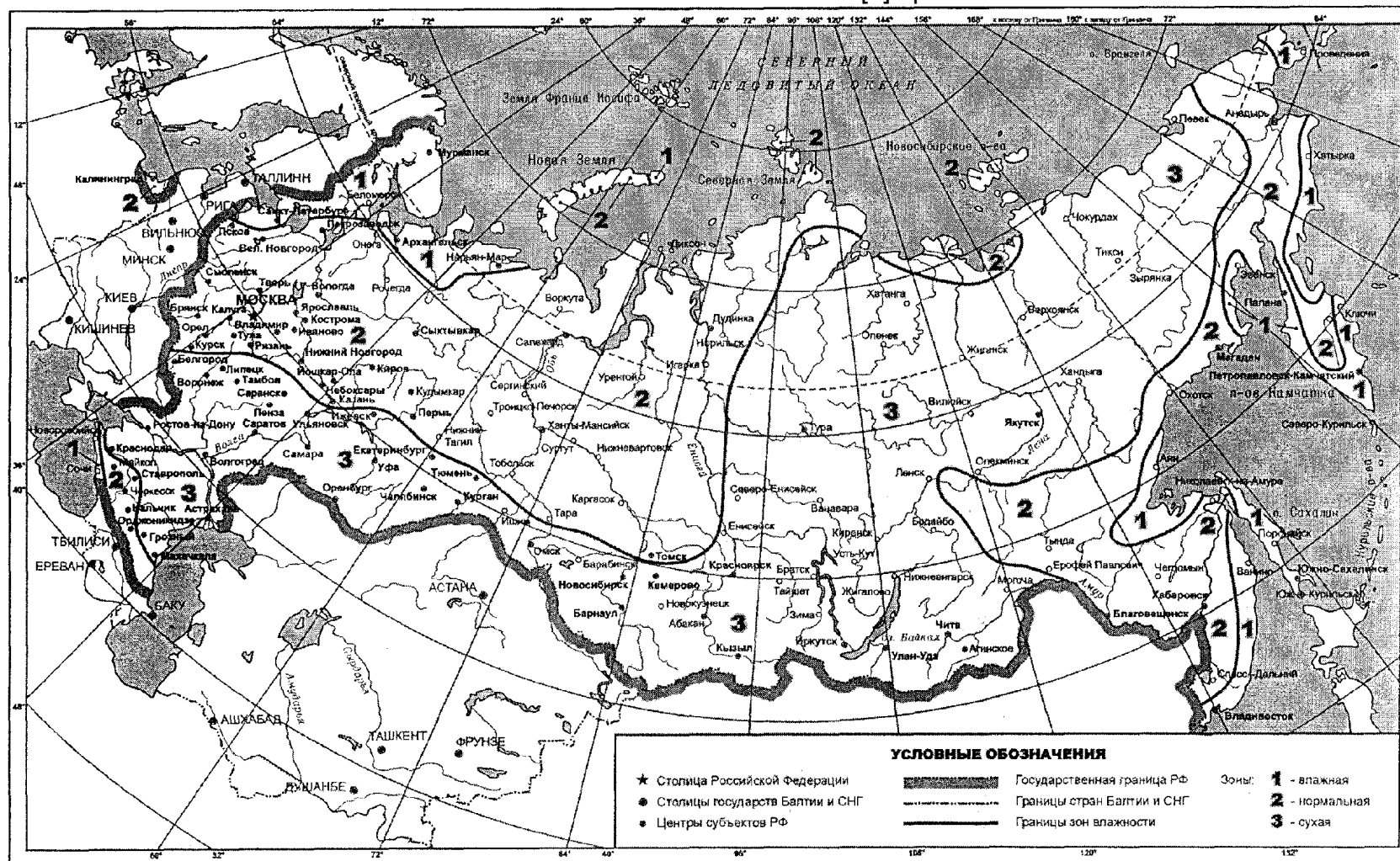
$V(8)$, м/с - средняя скорость ветра, м/с, за период со средней суточной температурой воздуха $\leq 8^\circ\text{C}$,

$t_{хм}$, °C - минимальная средняя месячная температура воздуха,

$e_{хм}$, гПа - среднее месячное парциальное давление водяных паров для месяца с минимальной средней месячной температурой воздуха,

$t_{A,T}$, °C; $t_{B,T}$, °C - температура воздуха, °C, обеспеченностью 0,95 и 0,98 в теплый период года,
 $I_{A,T}$, кДж/кг; $I_{B,T}$, кДж/кг - удельная энтальпия воздуха для теплого периода года по параметрам «А» и параметрам «Б»,
 A_T , °C - средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца, °C,
 V_{Tp} , м/с - минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, м/с,
 P , гПа - барометрическое давление, гПа

ЗОНЫ ВЛАЖНОСТИ ТЕРРИТОРИИ РФ [2] приложение В



КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ [3]

Помещения 1 категории — помещения, в которых люди в положении лежа или сидя находятся в состоянии покоя и отдыха.

Помещения 2 категории — помещения, в которых люди заняты умственным трудом, учебной.

Помещения 3а категории — помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды.

Помещения 3б категории — помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя в уличной одежде.

Помещения 3в категории — помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении стоя без уличной одежды.

Помещения 4 категории — помещения для занятий подвижными видами спорта.

Помещения 5 категории — помещения, в которых люди находятся в полураздетом виде (раздевалки, процедурные кабинеты, кабинеты врачей и т.п.).

Помещения 6 категории — помещения с временным пребыванием людей (вестибюли, гардеробные, коридоры, лестницы, санузлы, курительные, кладовые).

ПАРАМЕТРЫ МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЙ [3] табл.1, табл.2

Таблица П4-1

Оптимальные и допустимые значения параметров внутреннего микроклимата жилых зданий

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая, не	оптимальная	допустимая, не
Холодный	Жилая комната	20-22	18-24 (20-24)	19-20	17-23 (19-23)	45-30	60	0,15	0,2
	То же, в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) минус 31 °С и ниже	21-23	20-24 (22-24)	20-22	19-23 (21-23)	45-30	60	0,15	0,2
	Кухня	19-21	18-26	18-20	17-25	НН*	НН	0,15	0,2
	Туалет	19-21	18-26	18-20	17-25	НН	НН	0,15	0,2
	Ванная, совмещенный санузел	24-26	18-26	23-27	17-26	НН	НН	0,15	0,2
	Помещение для отдыха и учебных	20-22	18-24	19-21	17-23	45-30	60	0,15	0,2

	занятий								
	Межквартирный коридор	18-20	16-22	17-19	15-21	45-30	60	0,15	0,2
	Вестибюль, лестничная клетка	16-18	14-20	15-17	13-19	НН	НН	0,2	0,3
	Кладовая	16-18	12-22	15-17	11-21	НН	НН	НН	НН
Теп- лый	Жилая комната	22-25	20-28	22-24	18-27	60-30	65	0,2	0,3

Таблица П4-2

Оптимальные и допустимые значения параметров внутреннего микроклимата общественных зданий

Пе- риод года	Наименовани е помещения	Температур а воздуха, °С		Результирующа я температура, °С		Относительна я Влажность		Скорость движе- ния воздуха, м/с	
		опти- мальная	допусти- мая	опти- мальная	допусти- мая	опти- мальная	допусти- мая, не	опти- мальная	допусти- мая, не
Хо- лод- ный	1 категория	20-22	18-24	19-20	17-23	45-30	60	0,2	0,3
	2 категория	19-21	18-23	18-20	17-22	45-30	60	0,2	0,3
	3а категория	20-21	19-23	19-20	19-22	45-30	60	0,2	0,3
	3б категория	14-16	12-17	13-15	13-16	45-30	60	0,2	0,3
	3в категория	18-20	16-22	17-20	15-21	45-30	60	0,2	0,3
	4 категория	17-19	15-21	16-18	14-20	45-30	60	0,2	0,3
	5 категория	20-22	20-24	19-21	19-23	45-30	60	0,15	0,2
	6 категория	16-18	14-20	15-17	13-19	НН	НН	НН	НН
	Ванны, душевые	24-26	18-28	23-25	17-27	НН	НН	0,15	0,2
	Детские дошкольные учреждения								
	Групповая раздевалка и туалет: - для ясельных и младших групп - для средних и дошколь-	21-23 19-21	20-24 18-25	20-22 18-20	19-23 17-24	45-30 45-30	60 60	0,1 0,1	0,15 0,15

	ных групп								
	Спальня: - для ясельных и младших групп - для средних и дошколь- ных групп	20- 22 19- 21	19- 23 18- 23	19-21 18-22	18-22 17-22	45- 30 45- 30	60 60	0,1 0,1	0,15 0,15
Теп - лый	Помещения с постоянным пребыванием людей	23- 25	18- 28	22-24	19-27	60- 30	65	0,3	0,5

* НН – не нормируется

Примечание – Значения в скобках относятся к домам престарелых и инвалидов

Приложение 5

ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ ПОМЕЩЕНИЙ [2] табл.1

Режим	Влажность внутреннего воздуха, %, при температуре, °С		
	до 12	св.12 до 24	св.24
Сухой	до 60	до 50	до 40
Нормальный	св.60 до 75	св. 50 до 60	св.40 до 50
Влажный	св. 75	св. 60 до 75	св.50 до 60
Мокрый	-	св.75	св. 60

Приложение 6

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛОЖЕНИЯ ОГРАЖДЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО НАРУЖНОГО ВОЗДУХА [2] табл.6

Ограждающие конструкции	Коэффициент n
Наружные стены и покрытия (в том числе вентилируемые наружным воздухом), перекрытия чердачные (с кровлей из штучных материалов) и над проездами; перекрытия над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительно-климатической зоне	1
Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытия чердачные (с кровлей из рулонных материалов); перекрытия над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительно-климатической зоне	0,9
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	0,75

Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли	0,6
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных ниже уровня земли	0,4

Приложение 7

НОРМИРУЕМЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ПЕРЕПАД МЕЖДУ ТЕМПЕРАТУРОЙ ВНУТРЕННЕГО ВОЗДУХА И ТЕМПЕРАТУРОЙ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ [2] табл.5

Здания и помещения	Нормируемый температурный перепад $\Delta t_n, ^\circ\text{C}$, для		
	наружных стен	покрытий и чердачных перекрытий	перекрытий над проездами, подвалами и подпольями
Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	4,0	3,0	2,0
Общественные, кроме указанных выше, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным и мокрым режимом	4,5	4,0	2,5

Приложение 8

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ [2] табл.7

№ п.п.	Внутренняя поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи α_v , Вт/(м ² ·°C)
1	Стен, полов, плоских потолков, потолков с выступающими ребрами при отношении высоты ребра h 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 9

НОРМИРУЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ [2] табл.4

Здания и помещения	Градусо-сутки	Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций R_0^{TP} , (м ² ·°C)/Вт
--------------------	---------------	--

	отопительного периода $D_d, ^\circ\text{C}\cdot\text{сут}$	стен	покрытий	чердачных перекрытий и над холодными подвалами	окон и балконных дверей, витрин и витражей	фонарей с вертикальным остеклением
1. Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения школы, интернаты	2000	2,1	3,2	2,8	0,30	0,30
	4000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,60	0,4
	8000	4,2	6,2	5,5	0,70	0,45
	10000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,5
	12000	5,6	8,2	7,3	0,80	0,55
	a b	- 1,4	0,00035 2,2	0,00045 1,9	- -	0,000025 0,25
2. Общественные, кроме указанных выше, административные и бытовые, производственные и другие помещения с влажным или мокрым режимом	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 b	- 1,2	0,0003 1,6	0,00035 1,3	0,00005 0,2	0,000025 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	0,30	0,25
	6000	2,2	3,0	2,2	0,35	0,3
	8000	2,6	3,5	2,6	0,40	0,35
	10000	3,0	4,0	3,0	0,45	0,4
	12000	3,4	4,5	3,4	0,50	0,45
	a b	- 1,0	0,0002 1,5	0,0002 1,0	0,000025 0,2	0,000025 0,15

Приложения 10

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ [2] табл.2

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

Приложение 11

РАСЧЕТНЫЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ [4] приложение Д

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии	Расчетные значения (при условиях эксплуатации по СНиП 23-02)
--------	----------	---	--

		плот- ность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоем- кость c_0 , кДж/ (кг·°C)	тепло- провод- ность λ_0 , Вт/(м·°C)	массового отношения влаги в материале w , %		теплопровод- ности λ , Вт/(м·°C)		коэффициента теплоусвое- ния (при периоде 24 ч) ε , Вт/(м ² ·°C)		паро- прони- цае- мости μ , мг/ (м·ч·Па)
					А	Б	А	Б	А	Б	
1.	Пенополистирол ОАО "СП Радослав"	18	1,34	0,042	2	10	0,042	0,043	0,28	0,32	0,02
2.		24	1,34	0,04	2	10	0,04	0,041	0,32	0,36	0,02
3.	Пенополистирол (ГОСТ 15588)	40	1,34	0,037	2	10	0,041	0,05	0,41	0,49	0,05
4.	Экструдированный пенополистирол «Стиродур» 2500С	25	1,34	0,029	2	10	0,031	0,031	0,28	0,31	0,013
5.	Экструдированный пенополистирол «Пеноплэкс»	35	1,65	0,028	2	3	0,029	0,030	0,36	0,37	0,018
6.		45	1,53	0,030	2	3	0,031	0,032	0,40	0,42	0,015
7	Экструдирован-ный пенополистирол Стиродур 2500С	25	1,34	0,029	2	10	0,031	0,031	0,28	0,31	0,013
8.	Маты минераловат- ные на синтетичес- ком связующем (ГОСТ 9573)	125	0,84	0,044	2	5	0,064	0,07	0,73	0,82	0,49
8.	Плиты минераловатныеЗАО "Минеральная вата"	180-190	0,84	0,038	2	5	0,045	0,048	0,74	0,81	0,3
9.		140– 175	0,84	0,037	2	5	0,043	0,046	0,68	0,75	0,31
10.		80 – 125	0,84	0,036	2	5	0,042	0,045	0,53	0,59	0,32
11.		40 – 60	0,84	0,035	2	5	0,041	0,044	0,37	0,41	0,35
12.		25 – 50	0,84	0,036	2	5	0,042	0,045	0,31	0,35	0,37
13.	Кладка из мелких ячеистобетонных блоков на цементно- песчаном растворе с толщиной раствор- ных швов 12 мм	1060	0,84	0,30	6	8	0,35	0,37	4,76	4,89	0,11
14.		880	0,84	0,22	6	8	0,26	0,24	3,71	3,59	0,14
15		700	0,84	0,17	5	6	0,23	0,25	3,14	3,27	0,17
16.	Кладка из керами- ческого пустотного плотностью 1400 кг/м3 (брутто) (ГОСТ 530) на це- ментном-песчаном растворе	1600	0,88	0,47	1	2	0,58	0,64	7,91	8,48	0,14
17	Кладка из кирпича глиняного обыкно- венного (ГОСТ 530) на цементно- песчаном растворе	1800	0,88	0,56	1	2	0,7	0,81	9,2	10,12	0,11
17.	Железобетон	2500	0,84	1,69	2	3	1,92	2,04	17,98	18,95	0,03
18.	Раствор цементно-	1800	0,84	0,58	2	4	0,76	0,93	9,6	11,09	0,09

	песчаный										
19	Раствор сложный (песок, известь, цемент)	1700	0,84	0,52	2	4	0,7	0,87	8,95	10,42	0,098
20	Сосна и ель поперек волокон	500	2,3	0,09	15	20	0,14	0,18	3,87	4,54	0,06
21	Дуб поперек волокон	700	2,3	0,1	10	15	0,18	0,23	5,0	5,86	0,05
22	Плиты древесно-волоконистые и	600	2,3	0,11	10	12	0,13	0,16	3,93	4,43	0,13
23	древесно-стружечные (ГОСТ 4598, ГОСТ 10632)	400	2,3	0,08	10	12	0,11	0,13	2,95	3,26	0,19
24	Керамическая плитка	1000	0,88	0,25	1	2	0,42	0,46	5,20	5,75	0,14
25	Линолеум поливинилхлоридный на тканевой основе (ГОСТ 7251)	1800	1,47	0,35	0	0	0,35	0,35	8,22	8,22	0,002
26	Рубероид (ГОСТ 10923)	600	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	3,53	3,53	-

Приложение 12

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОТДАЧИ НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА [4] табл. 8.

№ п.п	Наружная поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи α_n , Вт/(м ² ·°C)
1	Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными подвалами (без ограждающих стен 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	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
5.	На поверхности конструкций, обращенной в сторону вентилируемой наружным воздухом прослойки	10,8

Приложение 13

ПРИВЕДЕННОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОКОН [4] приложение Л

Заполнение светового проема	Приведенное сопротивление теплопередаче R_0 , м ² ·°C/Вт	
	в деревянных или ПВХ	в алюминиевых переплетах

	переплетах	
1. Двойное в спаренных переплетах остекление из стекла - обычного - с твердым селективным покрытием	0,4 0,55	- -
2. Двойное в отдельных переплетах остекление из стекла - обычного - с твердым селективным покрытием	0,44 0,57	0,34 0,45
3. Тройное в отдельно-спаренных переплетах остекление из стекла - обычного - с твердым селективным покрытием	0,55 0,60	0,46 0,50
4. Однокамерный стеклопакет из стекла: - обычного - с твердым селективным покрытием - с мягким селективным покрытием	0,35 0,51 0,56	0,34 0,43 0,47
5. Двухкамерный стеклопакет из стекла: - обычного (с межстекольным расстоянием 6 мм) - обычного (с межстекольным расстоянием 12 мм) - с твердым селективным покрытием - с мягким селективным покрытием - с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,50 0,54 0,58 0,68 0,65	0,43 0,45 0,48 0,52 0,53
6. Обычное стекло и однокамерный стеклопакет в отдельных переплетах из стекла: - обычного - с твердым селективным покрытием - с мягким селективным покрытием - с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,56 0,65 0,72 0,69	0,50 0,56 0,60 0,60
7. Обычное стекло и двухкамерный стеклопакет в отдельных переплетах из стекла: - обычное - с твердым селективным покрытием - с мягким селективным покрытием - с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,65 0,72 0,80 0,82	- - - -
8. Два однокамерных стеклопакета в спаренных переплетах	0,70	-
9. Два однокамерных стеклопакета в отдельных переплетах	0,74	-
10. Четырехслойное остекление в двух спаренных переплетах	0,80	-

Приложение 14

НОРМИРУЕМАЯ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ [2] табл. 11

№ п.п	Ограждающие конструкции	Воздухопроницаемость G^H , кг/(м ² ·ч)
1	Наружные стены, покрытия и перекрытия жил	0,5

	общественных, административных и бытовых зданий и помещений	
2	Наружные стены, перекрытия и покрытия производственных зданий и помещений	1,0
3	Стыки между панелями наружных стен: а) жилых зданий б) производственных зданий	0,5* 1,0*
4	Входные двери в квартиры	1,5
5	Входные двери в жилые, общественные и бытовые здания	7,0
6	Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений в деревянных переплетах; окна и фонари производственных зданий с кондиционированием воздуха	6,0
7	Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений в пластмассовых или алюминиевых переплетах.	5,0
8	Окна, двери и ворота производственных зданий	8,0
9	Фонари производственных зданий	10,0
* в кг/(м·ч)		

Приложение 15

ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЗАМКНУТЫХ ВОЗДУШНЫХ ПРОСЛОЕК [4] табл.7

Толщина воздушной прослойки, м	Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, $R_{a,l}$, $m^2C/Вт$			
	горизонтальной при потоке теплоты снизу вверх и вертикальной		горизонтальной при потоке теплоты сверху вниз	
	при температуре воздуха в прослойке			
	положи- тельной	отрица- тельной	положи- тельной	отрица- тельной
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,1	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,2 – 0,3	0,15	0,19	0,19	0,24

Примечание – При наличии на одной или обеих поверхностях воздушной прослойки теплоотражающей алюминиевой фольги термическое сопротивление следует увеличить в два раза.

Приложение 16

ЗНАЧЕНИЯ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОГО ВОДЯНОГО ПАРА E , Па, ПРИ БАРОМЕТРИЧЕСКОМ ДАВЛЕНИИ 100,7 кПа [4] приложение Р

t, °C	E, Па	t, °C	E, Па	t, °C	E, Па	t, °C	E, Па	t, °C	E, Па	t, °C	E, Па
-25	63	-9	284	-1	563	7	1001	15	1705	23	2809
-24	69	-8,5	296	-0,5	586	7,5	1037	15,5	1761	23,5	2894
-23	77	-8	310	0	611	8	1072	16	1817	24	2984
-22	85	-7,5	324	0,5	633	8,5	1109	16,5	1877	24,5	3074
-21	93	-7	338	1	657	9	1148	17	1937	25	3168
-20	103	-6,5	354	1,5	681	9,5	1188	17,7	2000	25,5	3262

-19	113	-6	369	2	705	10	1228	18	2064	26	3363
-18	125	-5,5	385	2,5	732	10,5	1269	18,5	2129	26,5	3461
-17	137	-5	402	3	759	11	1312	19	2197	27	3567
-16	151	-4,5	419	3,5	785	11,5	1355	19,5	2266	27,5	3672
-15	165	-4	437	4	813	12	1403	20	2338	28	3782
-14	181	-3,5	456	4,5	843	12,5	1449	20,5	2412	28,5	3890
-13	199	-3	476	5	872	13	1497	21	2488	29	4005
-12	217	-2,5	495	5,5	904	13,5	1547	21,5	2564	29,5	4122
-11	237	-2	517	6	935	14	1599	22	2644	30	4246
-10	260	-1,5	540	6,5	968	14,5	1651	22,5	2725	30,5	4366

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОЕ ПРИРАЩЕНИЕ РАСЧЕТНОГО МАССОВОГО ОТНОШЕНИЯ
ВЛАГИ В МАТЕРИАЛЕ Δw , %, [2] табл. 12

Материал ограждающей конструкции	Δw , %
1.Кладка из глиняного кирпича и керамических блоков	1,5
2.Кладка из силикатного кирпича	2
3.Легкие бетоны на пористых заполнителях (керамзитобетон, шунгизитобетон, перлитобетон, пемзобетон и др.)	5
4.Ячеистые бетоны (газобетон, пенобетон, газосиликат и др.)	6
5.Пеногазостекло	1,5
6.Фибролит и арболит цементные	7,5
7.Минераловатные плиты и маты	3
8.Пенополистирол и пенополиуретан	25
9. Фенольно-резольный пенопласт	50
10.Теплоизоляционные засыпки из керамзита, шунгизита, шлака	3
11.Тяжелый бетон, цементно-песчаный раствор	2

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПАРОПРОНИЦАНИЮ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТОНКИХ СЛОЕВ
ПАРОИЗОЛЯЦИИ [4] приложение Ш

Материал	Толщина слоя, мм	Сопротивление паропрооницанию R_p , $m^2 \cdot ch \cdot Pa / mg$
1. Картон обыкновенный	1,3	0,016
2. Листы асбестоцементные	6	0,3
3. Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка)	10	0,12
4. Листы древесно-волокнистые жесткие	10	0,11
5. Листы древесно-волокнистые мягкие	12,5	0,05
6. Окраска горячим битумом за один раз	2	0,3
7. Окраска горячим битумом за два раза	4	0,48
8. Окраска масляная за два раза с предварительной шпатлевкой и грунтовкой	-	0,64
9. Окраска эмалевой краской	-	0,48
10. Покрытие изольной мастикой за один раз	2	0,60
11. Покрытие битумно-кукерсольной мастикой за один раз	1	0,64
12. Покрытие битумно-кукерсольной мастикой за два раза	2	1,1
13. Пергамин кровельный	0,4	0,33
14. Полиэтиленовая пленка	0,16	7,3
15. Рубероид	1,5	1,1
16. Толь кровельный	1,9	0,4
17. Фанера клееная трехслойная	3	0,15

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ $K_{дин}$, С ПОМОЩЬЮ КОТОРЫХ УЧИТЫВАЮТ ИЗМЕНЕНИЕ ВЕТРОВОГО ДАВЛЕНИЯ ОТ ВЫСОТЫ ЗДАНИЯ [5]

Высота h , м	Коэффициент $k_{дин}$ для типов местности*		
	A	B	C
≤ 5	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1,0
80	1,85	1,45	1,15
100	2,0	1,6	1,25
150	2,25	1,9	1,55
200	2,45	2,1	1,8
250	2,65	2,3	2,0
300	2,75	2,5	2,2
350	2,75	2,75	2,35
≥ 480	2,75	2,75	2,75

*Принимаются следующие типы местности:

A – открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра;

B – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м;

C – городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м.

Сооружение считается расположенным в местности данного типа, если эта местность сохраняется с наветренной стороны сооружения на расстоянии $30h$ – при высоте сооружения h до 60 м и 2 км – при большей высоте.

МАКСИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРЕРЫВИСТОСТИ [6] стр.336

m/T	2/24	4/24	6/24	8/24	10/24	12/24	16/24	20/24
$\Omega_{\text{макс}}$	0,640	0,787	0,843	0,849	0,818	0,760	0,575	0,475

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОБЛУЧЕННОСТИ С ПОВЕРХНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТЬ [6]

рис. 1-2, 1-11.

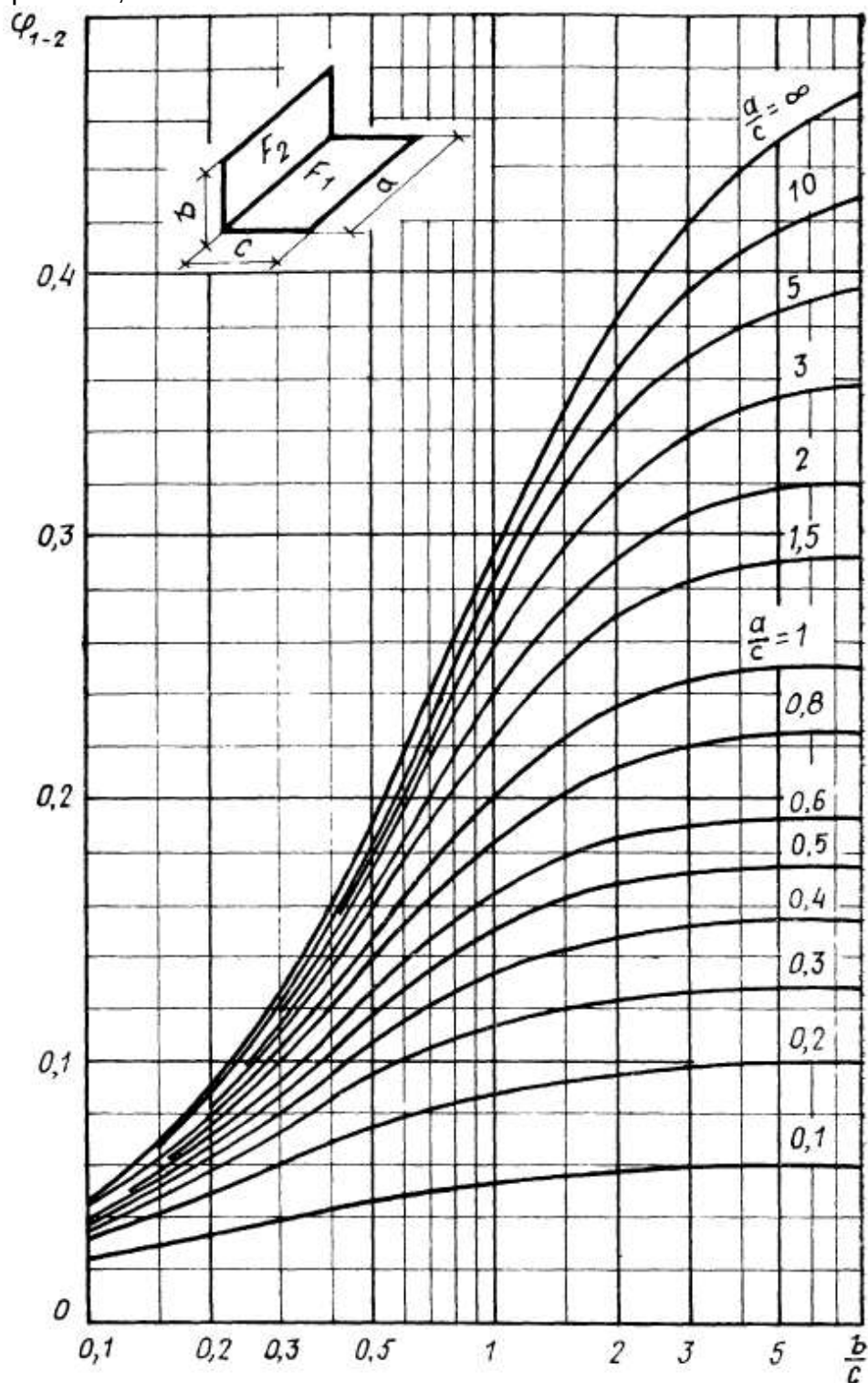


Рис.П21-1 Коэффициент облученности с одной прямоугольной плоской поверхности на другую при перпендикулярном их расположении

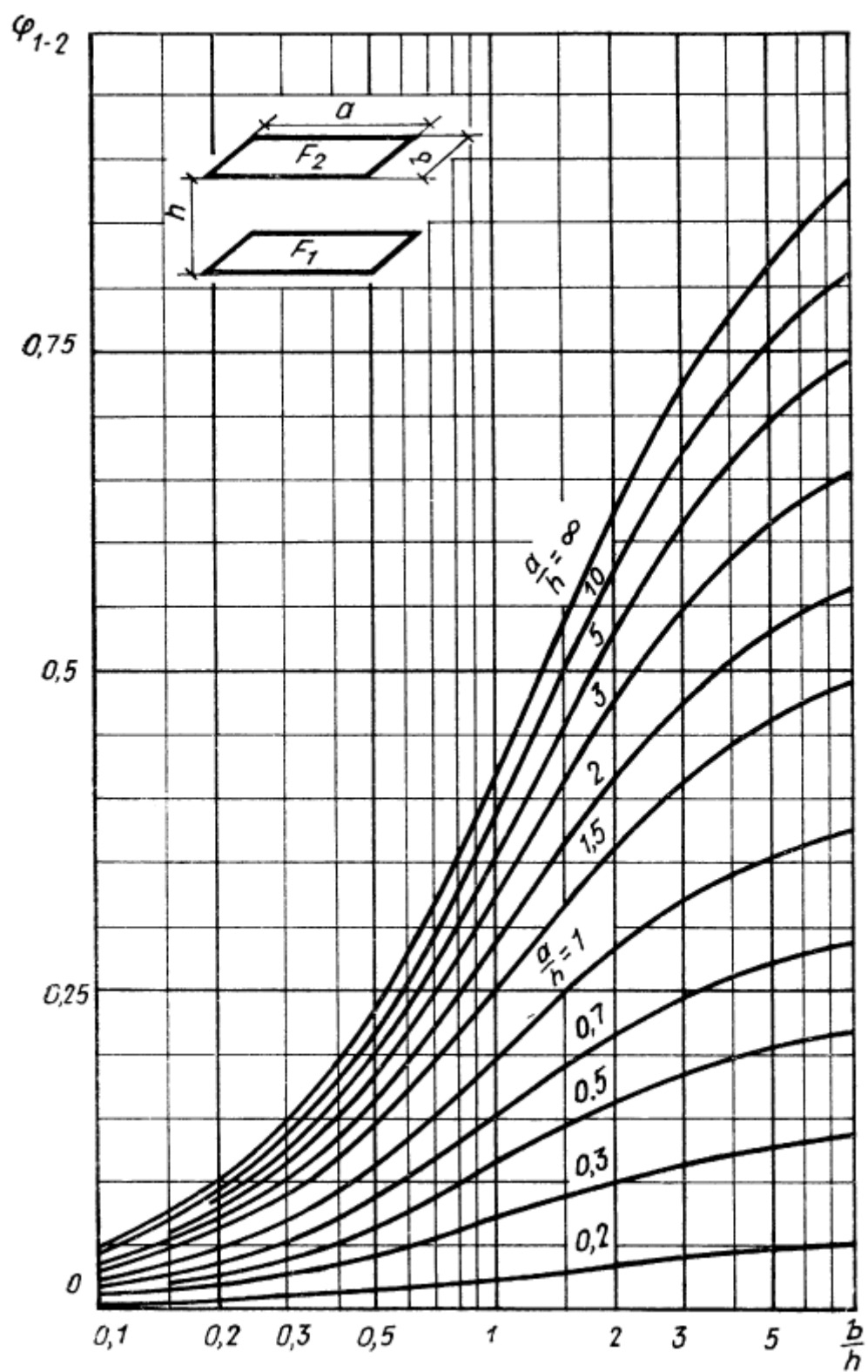
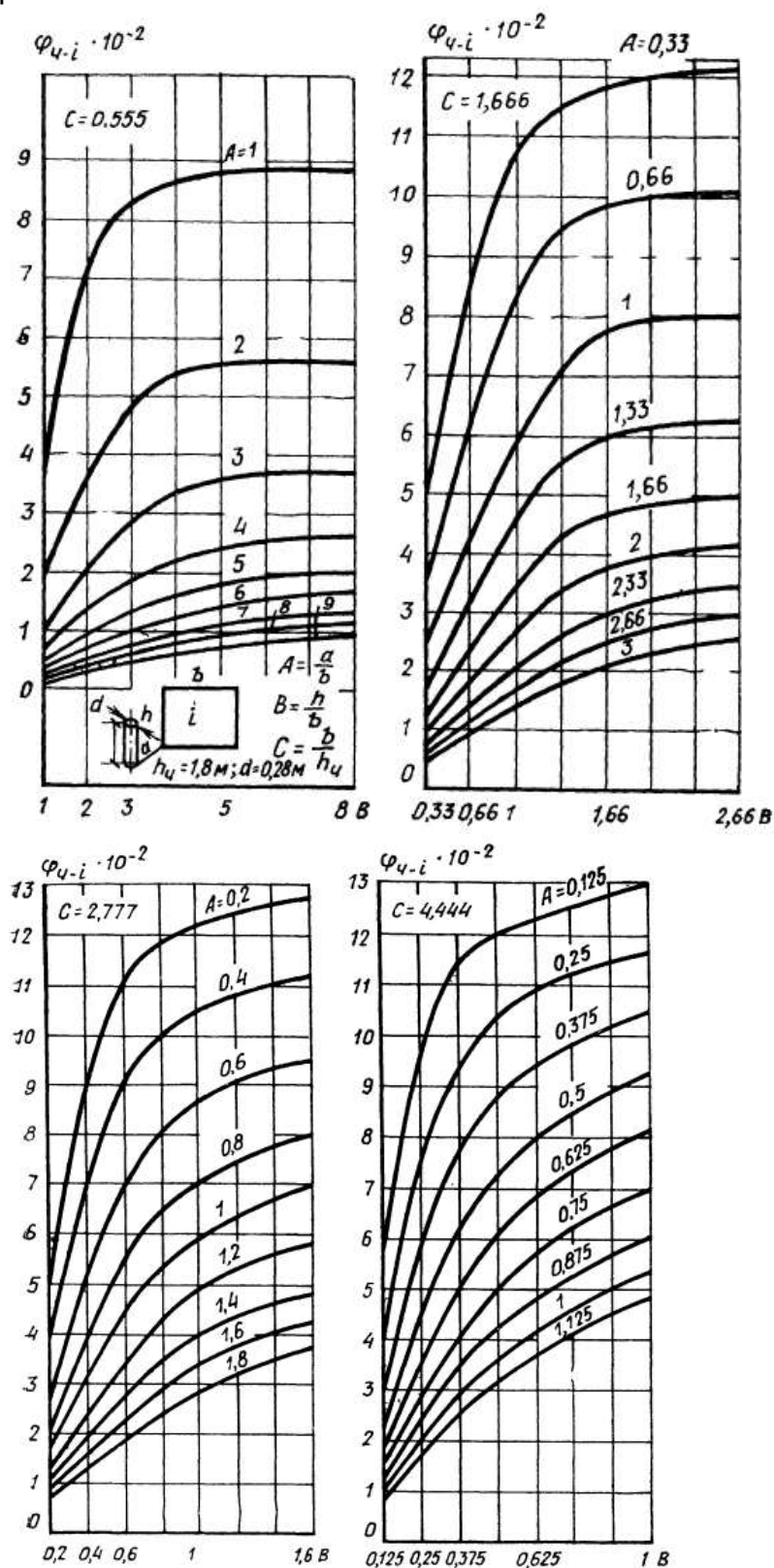
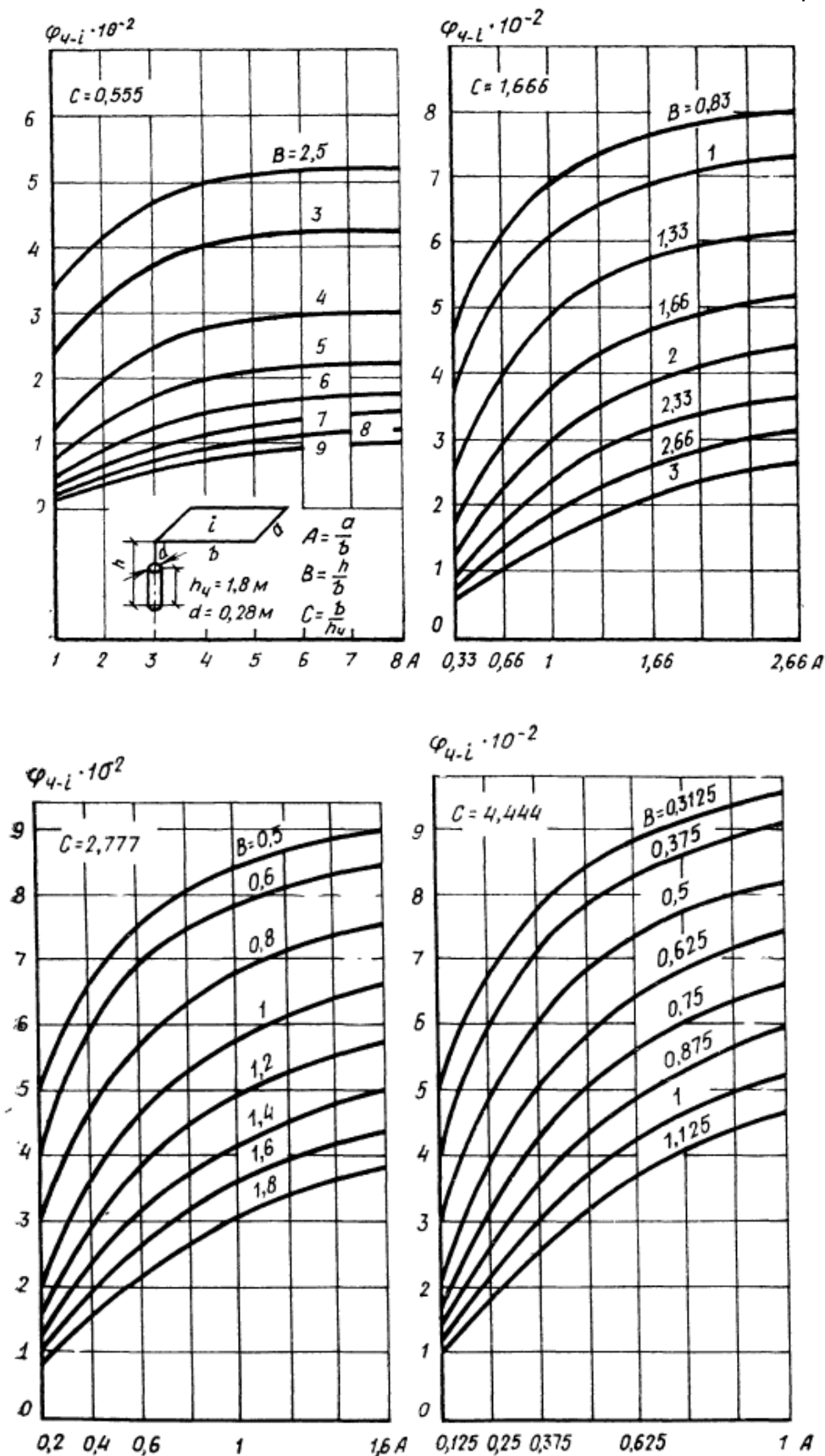


Рис. П 21-2. Коэффициент облученности с одной прямоугольной плоской поверхности на другую при параллельном их расположении

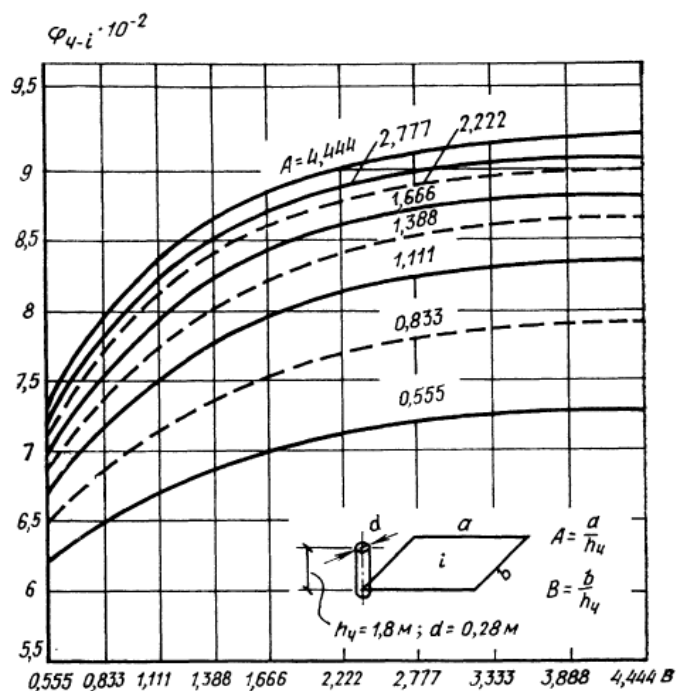
КОЭФФИЦИЕНТЫ ОБЛУЧЕННОСТИ С ЧЕЛОВЕКА НА СТЕНУ ПРИ РАЗНЫХ
СООТНОШЕНИЯХ РАЗМЕРОВ СТЕНЫ И РАССТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА ОТ НЕЕ [6]
рис.1.40 в



КОЭФФИЦИЕНТЫ ОБЛУЧЕННОСТИ С ЧЕЛОВЕКА НА ПОТОЛОК ПРИ РАЗНЫХ
СООТНОШЕНИЯХ РАЗМЕРОВ ПОТОЛКА И ВЫСОТЫ ПОМЕЩЕНИЯ [6] рис.1.40 б



КОЭФФИЦИЕНТЫ ОБЛУЧЕННОСТИ С ЧЕЛОВЕКА НА ПОЛ ПРИ РАЗНЫХ
СООТНОШЕНИЯХ РАЗМЕРОВ ПОЛА [6] рис. 1.40 а



Приложение 25

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОБЛУЧЕННОСТИ С ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ПЛОЩАДКИ НА
ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ ЕЙ ПРЯМОУГОЛЬНУЮ ПЛОСКОСТЬ [6] рис. 1.9.

