

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра отопления и вентиляции

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПОМЕЩЕНИЯ

Методические указания и примеры расчетов
к курсовой работе по курсу Строительная теплофизика
(выпуск 7)

МОСКВА 2005

7.1. Определение температуры потолочной панели отопления, возмещающей теплопотери помещения, расчет выполним для помещения 206.

Теплоотдача панели равна:

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

где: F_{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, $^\circ\text{C}$.

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

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

Усредненная температура наружных ограждений:

$$\tau_B = \frac{F_{\text{Н.С.}} \cdot \tau_{\text{Н.С.}} + F_{\text{ОК}} \cdot \tau_{\text{ОК}}}{F_{\text{Н.С.}} + F_{\text{ОК}}} = \frac{(10,1 - 3) \cdot 16,0 + 3 \cdot 4,9}{10,1} = 12,7 ^\circ\text{C}$$

Температура окна рассчитывается по формуле:

$$\tau_{\text{ОК}} = t_B - \frac{R_B}{R_{\text{О,ОК}}} (t_B - t_H) = 18 - \frac{1/8,7}{0,42} (18 - 30) = 4,9 ^\circ\text{C}$$

Принимаем температуру панели, равной $\tau_{\Pi} = 25 ^\circ\text{C}$, тогда коэффициент конвективного теплообмена равен:

$$\alpha_K = 1,16 \sqrt[3]{\tau_{\Pi} - t_B} = 1,16 \sqrt[3]{25 - 18} = 2,23 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

коэффициент лучистого теплообмена $\alpha_L = 4,88 \cdot \Phi \cdot b$ при коэффициенте

линеаризации разности температур b

$$b = 0,81 + 0,005(\tau_{\Pi} + \tau_B) = 0,81 + 0,005(25 + 12,7) = 0,998$$

и коэффициенте полной облученности Φ

$$\Phi = \frac{F_B / F_{\Pi} - \varphi_{\Pi-B}^2}{F_B / F_{\Pi} - 2\varphi_{\Pi-B} + 1} = \frac{10,1/8,1 - 0,22^2}{10,1/8,1 - 2 \cdot 0,22 + 1} = 0,66$$

где: $\varphi_{\Pi-B} = 0,22$, коэффициент облученности наружной стены с панели определяется по графику рис. 1.12 на стр.21 учебника В.Н.Богословского «Строительная теплофизика», при $a/c=3/2,715=1,10$ $b/c=3,35/2,715=1,23$

$$\alpha_L = 4,88 \cdot \Phi \cdot b = 4,88 \cdot 0,66 \cdot 0,998 = 3,27 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Температура панели равна:

$$\tau_{\Pi} = \frac{Q_{\text{ПОМ}} / F_{\Pi} + \alpha_K t_B + \alpha_L \tau_B}{\alpha_K + \alpha_L} = \frac{459,1/8,1 + 2,23 \cdot 18 + 3,27 \cdot 12,7}{2,23 + 3,27} = 25,15 ^\circ\text{C}$$

Так как полученное значение температуры панели отличается от предположенного меньше, чем на $2 ^\circ\text{C}$, расчет считаем законченным. Выполним тот же расчет на ЭВМ.

7.2. Расчет на ЭВМ

7.2.1. Постановка задачи при расчете на ЭВМ

На ЭВМ рассчитывается более широкая задача, а именно, определяются теплопотери помещения при различных системах отопления: радиаторной, конвекторной, воздушной, панельной потолочной и панельной напольной, при условии поддержания во всех случаях одинаковой температуры помещения $t_{\text{п}}$. При этом рассчитываются усредненная в объеме помещения температура воздуха $t_{\text{в}}$ и температуры на внутренних поверхностях всех ограждений и мебели (оборудования) τ_i , 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):

$$t_{\text{в}} = \frac{\sum \tau_i \cdot F_i}{\sum F_i}$$

где F_i - площади обращенных в помещение поверхностей. Площадь мебели в расчете принята равной половине суммы площадей всех ограждений.

В расчет заложено, что воздушная система отопления всю теплоту приносит в помещение конвективным путем, доля конвективной составляющей у конвекторной системы $\rho_{\text{к}} = 0,9$ (лучистой $\rho_{\text{л}} = 0,1$), у радиаторной $\rho_{\text{к}} = 0,3$ (лучистой $\rho_{\text{л}} = 0,3$), у панельных систем и $\rho_{\text{к}} = 0$ и $\rho_{\text{л}} = 0$, так как панели приносят 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 ($k = 1 / (1/\alpha_{\text{н}} + \sum (\delta_m / \lambda_m))$), M - число слоёв в ограждении):

$$k_j (t_{\text{н},j} - \tau_j) + \sum_{i \neq j} \alpha_{\text{л},j-i} (\tau_i - \tau_j) + \alpha_{\text{к},j} (t_{\text{в}} - \tau_j) + Q_{\text{л},j} = 0$$

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

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

I - число всех поверхностей в помещении, $i=1,2,\dots,j,\dots,I$;

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

$\alpha_{Л,j-i}$ - коэффициенты лучистого теплообмена между рассматриваемой поверхностью и любой другой;

$\alpha_{K,j}$ - коэффициенты конвективного теплообмена на рассматриваемой поверхности;

$Q_{Л,j}$ - лучистые тепlopоступления от внутренних источников на рассматриваемую поверхность. Так как в нашем расчете учитывались тепlopоступления только от приборов отопления, то для данного случая

$$Q_{Л,j} = \frac{Q_{\text{пом}} \cdot \rho_{Л} \cdot F_j}{\sum F_i};$$

$Q_{\text{пом}}$ - тепlopотери помещения за счет тепlopередачи через все ограждения, определявшиеся по формуле:

$$Q_{\text{пом}} = \sum_n^N k_n \cdot (t_{H,n} - \tau_n) \cdot F_n$$

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.

В тепловом балансе воздуха помещения учитывался конвективный теплообмен каждой поверхности с воздухом, конвективная часть тепlopоступлений от внутренних источников и тепlopотери от инфильтрации наружного воздуха:

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

где Q_K - конвективные тепlopоступления в помещение,

$$Q_K = Q_{\text{пом}} \cdot \rho_K$$

$Q_{\text{инф}}$ - тепlopотери за счет инфильтрации.

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 $5,67 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$;

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

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 (a, b - стороны прямоугольников, m, c - расстояние между ними, $x=b/c, y=a/c, z = 1+x^2, w = 1+y^2$):

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

$$- y * \arctg(y) - x * \arctg(x))$$

- для расчета коэффициентов облученности между двумя прямоугольниками, расположенными в перпендикулярных плоскостях с общей гранью (a -общая грань, m, b -сторона j -го прямоугольника, m, c -сторона i -го прямоугольника, m):

$$\varphi_{j-i} = (1/\pi) * (\arctg(a/b) + (c/b) * \arctg(a/c) - \sqrt{1+c^2/b^2} * \arctg(a/\sqrt{b^2+c^2}) -$$

$$- 0.25(a/b) * \ln((a^2+b^2+c^2) * a^2 / ((a^2+b^2) * (a^2+c^2))) +$$

$$+ 0.25(b/a) * \ln((a^2+b^2+c^2) * b^2 / ((b^2+c^2) * (a^2+b^2))) +$$

$$+ 0.25c^2/(a * b) * \ln((a^2+b^2+c^2) * c^2 / ((a^2+c^2) * (b^2+c^2))),$$

здесь $\pi = 3,14159265$.

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:

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

Коэффициенты конвективного теплообмена рассчитывались следующим образом:

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

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 в помещении, в программе по умолчанию задано $V_B=0,2$ м/с;

$h_{ПOM}$ - высота помещения, м.

Результаты расчета представляются в виде распечатки и иллюстрируются на разрезах помещения по окну основной наружной стены при всех пяти системах отопления. На стр. 10 представлен бланк, облегчающий работу над иллюстрацией.

6.2.2. Пример диалога и результаты расчета на ЭВМ теплового режима помещения 206 при различных системах отопления:

Введите фамилию, курс, группу

<Малявина Е.Г. каф. ОВ

Введите имя файла для записи результатов счета

<Maljavin.res

Введите длину стены с окнами (основную),

глубину помещения, его высоту;

<3 2.71 3.35

Введите высоту окна, расстояние от пола до низа окна;

<2. 0.85

Принята следующая нумерация ограждений:

1 - потолок, 2 - пол, 3 - стена с окнами (основная),

4 - стена справа от основной (если смотреть на нее изнутри),

5 - стена, противоположная основной, 6 - стена слева,

далее нумеруются окна в том же порядке, что и стены, в которых они расположены, причем всем окнам в одной стене присваивается один номер. Последний номер присваивается отопительной панели, если она занимает не весь потолок.

В порядке нумерации стен введите в строку через пробел число окон в каждой стене

<1 0 0 0

Приняты следующие буквенные характеристики ограждений:

Потолок	Пол	Другие ограждения
a- бесчердачн. покрытие	j-над неотапливаемым	r-наружная стена
b- чердачн. перекрытие	подвалом с окнами	г-внутренняя стена (за
c-междуэтажн. перекр.	е-то же без окон	ней помещение с другой
(за ним помещение с	выше уровня земли	температурой)
другой температурой)	k-то же ниже уровня земли,	и-внутренняя стена (за
d-междуэтажн. перекр.	f-по грунту, g-по лагам	ней помещение с такой-же
(за ним помещение с	h-на междуэтажн.пере-	температурой)
такой-же температурой)	крыт. (за ним помещен.	w-окно
i-отопительная панель,	с другой температур.)	у-потолочная отопительная
на весь потолок	m-на междуэтажн.пекре-	панель, занимающая часть
	крыт.(за ним помещен.	потолка
	с такой-же температ.)	

Введите буквенную характеристику потолка,

<d

Введите буквенную характеристику пола.

<m

Введите характеристику стены 4

<u

Введите характеристику стены 5

<u

Введите характеристику стены 6

<u

Для стены 3 введите расстояние от левого ее угла до окна, ширину окна, м

<0.75 1.5

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.

Если приведенные коэффициенты соответствуют Вашему варианту, нажмите 1, если будете вводить свои значения, нажмите 2.

<1

Введите коэффициент теплопередачи наружной стены

<0.37

Введите коэффициент теплопередачи окна

<2.38

Введите расчетную температуру помещения

<18

Введите расчетную температуру наружного воздуха

<-30

Введите величину теплотерь за счет инфильтрации в Вт.

<-51,9

Исходные данные

Длина основной стены	3.00 м	Температура помещения	18.0 °C
Глубина помещения	2.71 м	Температура наружного воздуха	-30.0 °C
Высота помещения	3.35 м	Число ограждений в помещении	7
Высота окна	2.00 м	Номер стены	3 4 5 6
Инфильтрация	0. Вт	Число окон в стене	1 0 0 0

Расстояние от пола до низа окна 0.85 м

Расстояние от левого угла стены 3 до окна 0.75 м

Ширина окна, 1.50 м

Результаты расчета

С поверх- ности	Коэффициенты облученности							
	На поверхность							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.000	0.140	0.135	0.174	0.193	0.174	0.058	0.143
2	0.140	0.000	0.135	0.174	0.193	0.174	0.058	0.143
3	0.156	0.156	0.000	0.175	0.213	0.175	0.000	0.143
4	0.156	0.156	0.136	0.000	0.194	0.175	0.058	0.143
5	0.156	0.156	0.149	0.175	0.000	0.175	0.063	0.143
6	0.156	0.156	0.136	0.175	0.194	0.000	0.058	0.143
7	0.156	0.156	0.000	0.175	0.213	0.175	0.000	0.143
8	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.000

Подвижность воздуха помещения $V = 0,2$ м/с

Коэффициенты теплообмена, $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$

лучистого

конвективного

при системах отопления

	ради- атор- ной	конве- ктор- ной	воз- душ- ной	пото- лоч- ной	на- поль- ной	ради- атор- ной	конве- ктор- ной	воз- душ- ной	пото- лоч- ной	на- поль- ной
Потолок	3.35	3.35	3.34	3.54	3.40	2.54	2.74	2.83	2.54	1.39
Пол	4.19	4.18	4.17	4.25	4.36	1.40	1.52	1.56	2.66	4.40
Стена 3	4.56	4.55	4.55	4.63	4.63	2.52	2.61	2.65	1.97	1.98
Стена 4	3.74	3.75	3.73	3.80	3.81	2.00	2.15	2.21	1.98	1.97
Стена 5	4.59	4.58	4.57	4.66	4.67	2.02	2.16	2.22	1.97	1.96
Стена 6	3.74	3.73	3.73	3.80	3.81	2.00	2.15	2.21	1.98	1.97
Окно 7	4.39	4.39	4.38	4.45	4.45	4.05	4.07	4.08	3.91	3.91
Оборуд.	4.39	4.39	4.38	4.45	4.56	4.05	4.07	4.08	3.91	1.61

Коэффициенты

бук-

Температуры на внутренней
поверхности ограждений,
радиационной, воздуха, $^\circ C$ пло-
щадьм²

код

тепло-
пере-дачи
 $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$ поло-
жения
относ.
наруж.
воздухаизлуче-
ниярадиа-
торнойконвек-
торнойвоздуш-
нойпото-
лоч-
нойна-
поль-
ной

Потолок	0.00	0.00	0.62	8.13	d	18.22	18.04	17.96	27.75	18.99
Пол	0.00	0.00	0.81	8.13	l	17.86	17.60	17.48	18.92	24.69
Стена 3	0.37	1.00	0.92	7.05	p	16.12	15.95	15.87	17.04	17.02
Стена 4	0.00	0.00	0.92	9.08	u	17.88	17.67	17.57	18.98	18.94
Стена 5	0.00	0.00	0.92	10.05	u	17.84	17.63	17.54	18.96	18.94
Стена 6	0.00	0.00	0.92	9.08	u	17.88	17.67	17.57	18.98	18.94
Окно 7	1.82	1.00	0.94	3.00	w	5.15	5.07	5.03	5.65	5.68
Оборудование			0.92	27.26		17.25	17.06	16.97	18.22	18.20
Радиационная						17.08	16.88	16.79	18.06	18.05
Воздух						18.92	19.12	19.21	17.94	17.95

Теплопотери помещения, Вт

523.2 521.9 521.3 530.5 530.8

$$\begin{aligned}
 t_{HC} &= 15,9 & t_{PT} &= 18,0 \\
 \alpha_{K,HC} &= 2,64 & \alpha_{K,PT} &= 2,83 \\
 \alpha_{L,HC} &= 4,55 & \alpha_{L,PT} &= 3,34 \\
 t_B &= 19,2 \\
 t_R &= 16,8 \\
 t_{OK} &= 5,0 & t_{BC} &= 17,6 \\
 \alpha_{K,OK} &= 4,08 & \alpha_{K,BC} &= 2,21 \\
 \alpha_{L,OK} &= 4,38 & \alpha_{L,BC} &= 3,73 \\
 t_{ПЛ} &= 17,5
 \end{aligned}$$

$$\alpha_{K,ПЛ} = \alpha_{L,ПЛ} =$$

Условные обозначения:

 α_L, α_K - коэффициенты лучистого и конвективноготеплообмена, на поверхностях, $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$; $Q_{Т.П.}$ - теплопотери помещения за счет теплопередачи, Вт; t_B, t_R - температуры воздуха и радиационной в помещении, $^\circ C$; $t_{PT}, t_{ПЛ}, t_{HC}, t_{BC}, t_{OK}$ - температуры внутренних поверхностей потолка, пола, наружной сены, внутренней стены, окна, $^\circ C$;

с.о. - система отопления.

Конвекторная с.о. $Q_{Т.п.} = 421,9$

$t_{HC} = 16,0$	$t_{ПТ} = 18,0$
$\alpha_{К,HC} = 2,52$	$\alpha_{К,ПТ} = 2,74$
$\alpha_{Л,HC} = 4,56$	$\alpha_{Л,ПТ} = 3,35$
$t_B = 19,1$	
$t_R = 16,9$	
$t_{OK} = 5,1$	$t_{BC} = 17,7$
$\alpha_{К,OK} = 4,07$	$\alpha_{К,BC} = 2,15$
$\alpha_{Л,OK} = 4,39$	$\alpha_{Л,BC} = 3,73$
$t_{ПЛ} = 17,6$	
$\alpha_{К,ПЛ} = 2,66$	$\alpha_{Л,ПЛ} = 4,25$

Радиаторная с.о. $Q_{Т.п.} = 523,2$

$t_{HC} = 16,2$	$t_{ПТ} = 18,2$
$\alpha_{К,HC} = 2,60$	$\alpha_{К,ПТ} = 2,54$
$\alpha_{Л,HC} = 4,56$	$\alpha_{Л,ПТ} = 3,35$
$t_B = 18,9$	
$t_R = 17,1$	
$t_{OK} = 5,2$	$t_{BC} = 17,9$
$\alpha_{К,OK} = 4,05$	$\alpha_{К,BC} = 2,00$
$\alpha_{Л,OK} = 4,39$	$\alpha_{Л,BC} = 3,74$
$t_{ПЛ} = 17,9$	
$\alpha_{К,ПЛ} = 4,40$	$\alpha_{Л,ПЛ} = 4,36$

Анализ приведенных 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 $t_n = 18^\circ\text{C}$.

По мере снижения конвективной составляющей ρ_k в теплоподаче отопительных приборов снижается разность между температурами 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:

Системы отопления	ρ_k	t_B	t_R	t_n	t_{OK}	$Q_{Т.п.}$
Воздушная	1	16,79	19,21	15,89	5,03	467,9
Конвекторная	0,9	16,89	19,11	15,97	5,07	468,5
Радиальная	0,7	17,08	18,92	16,15	5,15	469,8
Панельная 1	0	18,0	18,00	17,06	5,64	477,1
Панельная 2	0	18,0	18,00	17,04	5,68	477,1

Наиболее низкие температуры в помещении формируются на поверхностях наружных ограждений, причем, чем больше коэффициент теплопередачи (т. е. чем меньше сопротивление теплопередаче), тем ниже температура. У окна температура самая низкая ($5,0 - 5,6^\circ\text{C}$), так как $K_{ок} = 1,82 \text{ Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$, у наружной стены температуры выше ($15,9 - 17,1^\circ\text{C}$) при коэффициенте теплопередачи $0,366 \text{ Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$.

На температуру поверхности, обращенной в помещение, влияние оказывает 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 $0,04^{\circ}\text{C}$ ниже, чем у стен 4 и 6.

В данном помещении коэффициенты облученности с каждой поверхности ограждения на окно невелики сами по себе и мало отличаются друг от друга (от 0,058 до 0,063), поэтому не столько лучистый теплообмен с окном сыграл роль в полученном распределении температур, сколько конвективный с воздухом помещения. Интересно отметить, что наименьшие коэффициенты лучистого теплообмена формируются на поверхности потолка, что объясняется наименьшим значением его относительного коэффициента излучения $\epsilon=0,62$. Значит, на температуре потолка в наименьшей из всех поверхностей степени сказывается лучистый теплообмен, а в большей степени на неё влияет конвективный.

Коэффициенты конвективного теплообмена 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

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

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 все поверхности, обращенные в помещение, имеют более высокие температуры, чем при системах с большой долей конвективной составляющей.

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.

6.3. Проверка выполнения условий комфортности

Из расчета на ЭВМ температура потолочной панели в помещении 306 для поддержания в нем температуры $t_B=18^{\circ}\text{C}$ равна $t_n=27,7^{\circ}\text{C}$. Проверим первое и второе условия комфортности этого помещения при таком отоплении.

Первое условие комфортности согласно формуле (10) Методического указания связывает радиационную температуру $t_{R,q}$ относительно человека, стоящего посередине помещения, с температурой воздуха в помещении t_B :

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

при температуре воздуха в помещении, равной $t_B=18^{\circ}\text{C}$, $t_{R,q}=29-0,57 \cdot 18 \pm 1,5 =$ от 17,2 до 20,2.

Фактически радиационная температура относительно стоящего посередине человека (формула 9 Методического указания) равна:

$$t_{R,ч} = \varphi_{ч-в} \cdot \tau_v + \varphi_{ч-п} \cdot \tau_{п} + \varphi_{ч-в.о} \cdot \tau_{в.о}, ^\circ\text{C},$$

где $\varphi_{ч-в}$ - коэффициент облученности с человека на наружное ограждение, определяется по рис. 1-40, в учебника "Строительная теплофизика" В.Н.Богословского на стр.86, причем величина коэффициента $\varphi_{ч-в}$ равна удвоенному значению φ с графика. $\varphi_{ч-в} = 2 \cdot \varphi = 2 \cdot 0,08 = 0,16$, φ определено при $A=a/b=2,71/(2 \cdot 1,5)=0,9$; $B=h/b=3,35/1,5=2,23$ и $C=b/h_{чел}=1,5/1,8=0,83$ $\varphi=0,08$;

τ_v - средняя температура наружного ограждения в помещении 306, $\tau_v=12,7^\circ\text{C}$;

$\varphi_{ч-п}$ - коэффициент облученности с человека на панель, определяется по рис. 1-40-б на стр.85, причем величина $\varphi_{ч-п}$ равна учетверенному значению φ с графика, $\varphi_{ч-п} = 4 \cdot \varphi = 4 \cdot 0,04 = 0,16$, φ определено при $A=a/b=2,71/(2 \cdot 1,5)=0,9$, $B=h/b=3,35/1,5=2,23$, $C=b/h_{чел}=1,5/1,8=0,83$, $\varphi = 0,04$;

$\tau_{п}$ - температура панели, $\tau_{п} = 27,7^\circ\text{C}$;

$\varphi_{ч-в.о}$ - коэффициент облученности с человека на внутренние ограждения,

$$\varphi_{ч-в.о} = 1 - (\varphi_{ч-в} + \varphi_{ч-п}) = 1 - (0,16 + 0,16) = 0,68;$$

$\tau_{в.о}$ - температура внутренней поверхности внутренних ограждений, принимается равной температуре воздуха, $\tau_{в.о}=18^\circ\text{C}$.

$t_{R,ч} = \varphi_{ч-в} \cdot \tau_v + \varphi_{ч-п} \cdot \tau_{п} + \varphi_{ч-в.о} \cdot \tau_{в.о} = 0,16 \cdot 12,7 + 0,16 \cdot 27,7 + 0,68 \cdot 18 = 18,7^\circ\text{C}$, что удовлетворяет первому условию комфортности, так как укладывается в допустимый интервал.

Второе условие комфортности ограничивает температуру нагретой поверхности допустимой величиной $\tau_v^{доп}, ^\circ\text{C}$,

$$\tau_v^{доп} = 19,2 + 8,7 / \varphi_{г.ч-п},$$

где $\varphi_{г.ч-п}$ - коэффициент облученности с элементарной площадки на голове человека на нагретую панель, определяется по рис. 1.9 учебника (стр. 19), причем полученную с графика величину φ следует умножить на 4. При $b/h=1,5/(3,35-1,8)=0,97$ и $a/h=(2,71/2)/1,55=0,87$ $\varphi=0,13$, $\varphi_{г.ч-п}=0,13 \cdot 4=0,52$.

$$\tau_v^{доп} = 19,2 + 8,7 / 0,52 = 35,9^\circ\text{C}.$$

Так как температура на поверхности панели ниже допустимой: $27,7 < 35,9$, то второе условие комфортности выполняется.

БЛАНК ДЛЯ ЗАПОЛНЕНИЯ

Иллюстрация результатов расчета стационарного теплового режима помещения N
Воздушная с.о. $Q_{Т.п.} =$

$t_{НС} =$	$t_{ПТ} =$
$\alpha_{К,НС} =$	$\alpha_{К,ПТ} =$
$\alpha_{Л,НС} =$	$\alpha_{Л,ПТ} =$
	$t_B =$
	$t_R =$
$t_{ОК} =$	$t_{ВС} =$
$\alpha_{К,ОК} =$	$\alpha_{К,ВС} =$
$\alpha_{Л,ОК} =$	$\alpha_{Л,ВС} =$
	$t_{ПЛ} =$
$\alpha_{К,ПЛ} =$	$\alpha_{Л,ПЛ} =$

Условные обозначения:

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

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

t_B, t_R - температуры воздуха и радиационной в помещении, $^\circ C$;

$t_{ПТ}, t_{ПЛ}, t_{НС}, t_{ВС}, t_{ОК}$ - температуры внутренних поверхностей потолка, пола, наружной сены, внутренней стены, окна, $^\circ C$;

с.о. - система отопления.

Конвекторная с.о. $Q_{Т.п.} =$

$t_{НС} =$	$t_{ПТ} =$
$\alpha_{К,НС} =$	$\alpha_{К,ПТ} =$
$\alpha_{Л,НС} =$	$\alpha_{Л,ПТ} =$
	$t_B =$
	$t_R =$
$t_{ОК} =$	$t_{ВС} =$
$\alpha_{К,ОК} =$	$\alpha_{К,ВС} =$
$\alpha_{Л,ОК} =$	$\alpha_{Л,ВС} =$
	$t_{ПЛ} =$
$\alpha_{К,ПЛ} =$	$\alpha_{Л,ПЛ} =$

Радиаторная с.о. $Q_{Т.п.} =$

$t_{НС} =$	$t_{ПТ} =$
$\alpha_{К,НС} =$	$\alpha_{К,ПТ} =$
$\alpha_{Л,НС} =$	$\alpha_{Л,ПТ} =$
	$t_B =$
	$t_R =$
$t_{ОК} =$	$t_{ВС} =$
$\alpha_{К,ОК} =$	$\alpha_{К,ВС} =$
$\alpha_{Л,ОК} =$	$\alpha_{Л,ВС} =$
	$t_{ПЛ} = 17,9$
$\alpha_{К,ПЛ} =$	$\alpha_{Л,ПЛ} =$

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

$t_{НС} =$	$t_{ПТ} =$
$\alpha_{К,НС} =$	$\alpha_{К,ПТ} =$
$\alpha_{Л,НС} =$	$\alpha_{Л,ПТ} =$
	$t_B =$
	$t_R =$
$t_{ОК} =$	$t_{ВС} =$
$\alpha_{К,ОК} =$	$\alpha_{К,ВС} =$
$\alpha_{Л,ОК} =$	$\alpha_{Л,ВС} =$
	$t_{ПЛ} =$
$\alpha_{К,ПЛ} =$	$\alpha_{Л,ПЛ} =$

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

$t_{НС} =$	$t_{ПТ} =$
$\alpha_{К,НС} =$	$\alpha_{К,ПТ} =$
$\alpha_{Л,НС} =$	$\alpha_{Л,ПТ} =$
	$t_B =$
	$t_R =$
$t_{ОК} =$	$t_{ВС} =$
$\alpha_{К,ОК} =$	$\alpha_{К,ВС} =$
$\alpha_{Л,ОК} =$	$\alpha_{Л,ВС} =$
	$t_{ПЛ} = 17,9$
$\alpha_{К,ПЛ} =$	$\alpha_{Л,ПЛ} =$