

# Основы создания микроклимата в помещении.

## Введение

Система Отопления – предназначена для создания в помещениях температурной обстановки соответствующей комфортной для человека или отвечающей требованиям технологического процесса.

Отопление - поддержание в закрытых помещениях нормируемой температуры со средней необеспеченностью 50 ч/г (из /1/).

При определении температурной обстановки в помещении следует учитывать мощность системы отопления, месторасположение отопительных устройств, источники поступления и потерь теплоты.

Для определения необходимой мощности системы отопления, необходимо составление уравнения теплового баланса, т.е. определение суммарных теплотерь помещения ( $Q_{\text{пот}}$ ) и суммарных теплоступлений в помещение ( $Q_{\text{выд}}$ ).

Расчётные теплотери (представленные в курсовом проекте):

- через наружные стены;
- через окна и двери;
- через пол и потолок;
- на нагрев наружного инфильтрирующегося воздуха через ограждающие конструкции;
- на нагрев наружного инфильтрирующегося воздуха для вентиляции (при отсутствии системы приточной вентиляции).

Расчётные теплоступления (представленные в курсовом проекте):

- Бытовые теплоступления.

## 1 Исходные данные,

Рассчитываемое здание – жилое многоквартирное, число этажей – 3, высота этажа 3,52 м. Город застройки здания – Челябинск.

Для города Челябинск для холодного периода года температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 равняется  $-34^{\circ}\text{C}$ ; продолжительность периода со средней суточной температурой менее или равной  $8^{\circ}\text{C}$  - 218 суток, средняя температура этого периода будет  $-6,5^{\circ}\text{C}$ .

Фактическое сопротивление теплопередаче наружной стены:

$$R_0 = 1,766 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт} \text{ – из прил. 1}$$

Сопротивление теплопередаче окна:

$$R_{\text{ок}} = 0,7 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт} \text{ – из прил. 1.}$$

Сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия:

$$R_{\text{пт}} = 4,12 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт} \text{ – из строительной теплофизики.}$$

## 2 Порядок расчёта потерь теплоты через ограждающие конструкции,

Рассмотрим основную формулу для определения основных и добавочных теплотерь через отдельные ограждающие конструкции.

$$Q_i = A_i \cdot K_i \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{н}}) \cdot n_i \cdot (1 + \sum \beta_i), \quad (2.1)$$

где  $A_i$  – расчётная площадь ограждающей конструкции,  $\text{м}^2$ ;

$K_i$  – коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

$t_{\text{п}}$  – температура рассчитываемого помещения,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\text{н}}$  – температура наружного воздуха (средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92), по /2/,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$n_i$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности, по /3/.

$\beta_i$  – добавочные теплотери в долях от основных потерь, по /4/.

Добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции следует принимать в долях от основных потерь:

- в помещениях любого назначения через наружные вертикальные и наклонные (вертикальная проекция) стены, двери и окна, обращенные на север, восток, северо-восток и северо-запад размере 0,1, на юго-восток и запад - в размере 0,05; в угловых помещениях дополнительно - по 0,05 на каждую стену, дверь и окно, если одно из ограждений обращено на север, восток, северо-восток и северо-запад и 0,1 - в других случаях;
- через наружные двери, не оборудованные воздушными или воздушно-тепловыми завесами, при высоте зданий Н, м, от средней планировочной отметки земли до верха карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или устья шахты в размере:
  - $0,27 \cdot H$  - для двойных дверей с тамбурами между ними;

Следует помнить, что при определении потерь теплоты через полы на грунте, следует пользоваться следующей методикой.

Сопротивление теплопередаче пола:

- для неутепленных полов на грунте и стен, расположенных ниже уровня земли, по зонам шириной 2 м, параллельным наружным стенам, принимая  $R_{н.п.}$ ,  $m^2 \text{ } ^\circ C/Вт$ , равны:
  - 2,1 – для I зоны;
  - 4,3 – для II зоны;
  - 8,6 – для III зоны;
  - 14,2 – для IV зоны (для оставшейся площади пола);
- для утепленных полов на грунте и стен, расположенных ниже уровня земли, утепляющего слоя толщиной  $\delta$ , м, принимая  $R_{у.п.}$ ,  $m^2 \text{ } ^\circ C/Вт$ , по формуле:

$$R_{у.п.} = R_{н.п.} + \Sigma \delta / \lambda; \quad (2.2)$$

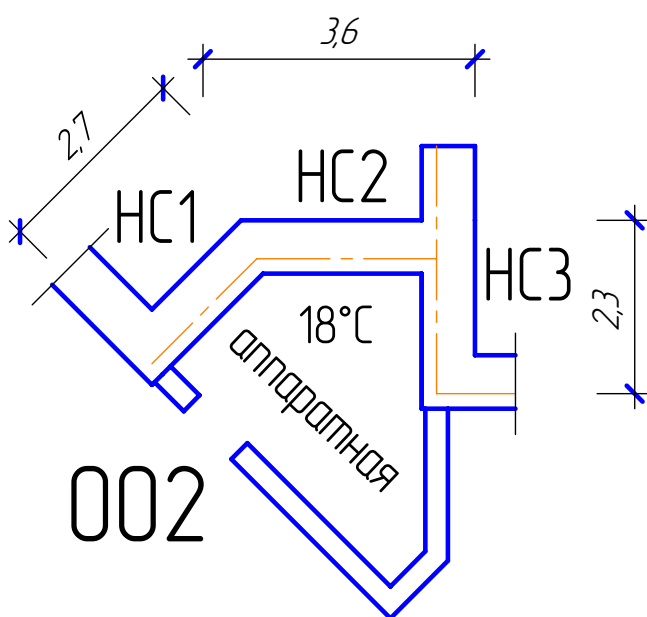
- для полов на лагах, принимая  $R_{л.}$ ,  $m^2 \text{ } ^\circ C/Вт$ , по формуле

$$R_{л.} = 1,18 \cdot R_{у.п.} \quad (2.3)$$

## 2.1 Расчёт потерь теплоты через ограждения углового помещения цокольного этажа.

Пример, расчёта для аппаратной, далее все расчёты аналогичны, и приведены в приложении 2.

Рисунок 2.1 002 – Аппаратная, допустимая температура внутреннего воздуха 18<sup>0</sup>С.



Высоту наружной стены принимаем 2 м, т.к. высота этажа 3,52 и учитываем, что цокольный этаж заглублён в землю на 1,5 м.

Тогда площадь наружной стены 1 будет, при определении длины учитываем наружный угол:

$$A_{\text{HC1}} = 2,7 \cdot 2 = 5,4 \text{ м}^2,$$

Аналогично:

$$A_{\text{HC2}} = 3,6 \cdot 2 = 7,2 \text{ м}^2,$$

$$A_{\text{HC3}} = 2,3 \cdot 2 = 4,6 \text{ м}^2,$$

$K = 0,566 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , см. приложение 1.

Расчётная разность температур,  $52\text{ }^{\circ}\text{C}$ , т.к.  $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$  температура наружного воздуха для города Челябинска и температура в помещении принятая равной  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .  $n = 1$ , т.к. располагается вертикально, перпендикулярно к земле.

Для наружной стены НС1 вводим добавку  $\beta = 0,1$  ориентирована на восток. Аналогично для НС2 добавка  $\beta = 0,05$  ориентирована на юго-восток.

В итоге получаем:

$$Q_{\text{НС1}} = 5,4 \cdot 0,566 \cdot (18+34) \cdot 1 \cdot (1+0,1) = 175 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{НС2}} = 7,2 \cdot 0,566 \cdot (18+34) \cdot 1 \cdot (1+0,05) = 223 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{НС3}} = 4,6 \cdot 0,566 \cdot (18+34) \cdot 1 \cdot (1+0) = 135 \text{ Вт},$$

Также следует учесть потери через пол. Принимаем, что в здании используется утепленный пол по лагам. Примем в качестве утепляющих слоёв керамзитовый гравий -  $\rho=800\text{кг/м}^3$ ,  $\delta=0,1\text{м}$ ,  $\lambda=0,21\text{Вт/((м}\cdot^{\circ}\text{C))}$ ; цементно-песчаный раствор -  $\rho=1800\text{кг/м}^3$ ,  $\delta=0,1\text{м}$ ,  $\lambda=0,76\text{Вт/((м}\cdot^{\circ}\text{C))}$ . Тогда, сопротивление теплопередаче утепленного пола будет(по зонам):

$$R_{\text{у.п.1}} = 2,1 + 0,1/0,21 + 0,1/0,76 = 2,71 \text{ (м}\cdot^{\circ}\text{C)/Вт}$$

$$R_{\text{у.п.2}} = 4,3 + 0,1/0,21 + 0,1/0,76 = 4,91 \text{ (м}\cdot^{\circ}\text{C)/Вт}$$

$$R_{\text{у.п.3}} = 8,6 + 0,1/0,21 + 0,1/0,76 = 9,21 \text{ (м}\cdot^{\circ}\text{C)/Вт}$$

$$R_{\text{у.п.4}} = 14,2 + 0,1/0,21 + 0,1/0,76 = 14,81 \text{ (м}\cdot^{\circ}\text{C)/Вт}$$

Для, утепленного пола по лагам, получим следующие значения:

$$R_{\text{п.л.1}} = 1,18 \cdot 2,71 = 3,2 \text{ (м}\cdot^{\circ}\text{C)/Вт}$$

$$R_{\text{п.л.2}} = 1,18 \cdot 4,91 = 5,79 \text{ (м}\cdot^{\circ}\text{C)/Вт}$$

$$R_{\text{п.л.3}} = 1,18 \cdot 9,21 = 10,87 \text{ (м}\cdot^{\circ}\text{C)/Вт}$$

$$R_{\text{п.л.4}} = 1,18 \cdot 14,81 = 17,5 \text{ (м}\cdot^{\circ}\text{C)/Вт}$$

Значит, например, для аппаратной можем рассчитать теплопотери через пол:

$$A_{1\text{зона}} = 15,8 \text{ м}^2; A_{2\text{ зона}} = 7,05 \text{ м}^2. \text{ Соответственно } K_{1\text{зона}} = 1 / 3,2 = 0,31 \text{ Вт/((м}\cdot^{\circ}\text{C))},$$

$$K_{2\text{зона}} = 1 / 5,79 = 0,17 \text{ Вт/((м}\cdot^{\circ}\text{C))}.$$

В итоге, получаем:

$$Q_{\text{пл1}} = 15,8 \cdot 0,31 \cdot (18+34) \cdot 1 \cdot (1+0) = 257 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{пл2}} = 15,8 \cdot 0,17 \cdot (18+34) \cdot 1 \cdot (1+0) = 63 \text{ Вт},$$

Следовательно, суммарные теплотери для данного помещения равны:

$$Q_{\text{сум}} = 175 + 223 + 135 + 257 + 63 = 853 \text{ Вт.}$$

Расчёт для всех помещений сведен в таблицу, смотри приложение 2.

### **3 Порядок расчёта потерь теплоты на нагревание наружного инфильтрирующегося воздуха.**

В большинстве случаев, расход теплоты идущий на нагревание наружного инфильтрирующегося воздуха, составляет 30-40% от основных теплотерь, поэтому при расчёте общих теплотерь, производят специальный расчёт затрат теплоты на нагревание наружного инфильтрирующегося воздуха.

Расход теплоты  $Q$ , Вт, на нагревание инфильтрирующегося воздуха, можно определить по формуле:

$$Q_i = 0,28 \cdot \Sigma G_i \cdot c \cdot (t_n - t_n) \cdot k \quad (3.1)$$

, где  $G_i$  – расход инфильтрирующегося воздуха, через ограждающие конструкции помещения, кг/ч;

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

$(t_n - t_n)$  – расчётная разность температур,  $^\circ\text{C}$ , соответственно в помещении и наружного воздуха в холодный период года;

$k$  – коэффициент учёта влияния встречного теплового потока в конструкциях.

Расход воздуха  $G_i$ , кг/ч, инфильтрующегося в помещение через окна, определяется по формуле:

$$G_i = 0,216 \cdot (\Delta P_i^{3/5} / R_u) \cdot A_{\text{ок}}, \quad (3.2)$$

где  $\Delta P_i$  – расчётная разность между давлениями на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций на расчётном этаже, Па;

$R_u$  – сопротивление воздухопроницанию,  $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{кг}$ .

Расход воздуха  $G_i$ , кг/ч, инфильтрующегося в помещение через наружные двери, определяется по формуле:

$$G_i = 0,216 \cdot (\Delta P_i^{1/2} / R_u) \cdot A_{\text{дв}}, \quad (3.3)$$

где  $R_u = 0,3 (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{кг}$  – для наружных дверей.

Расчётная разность между давлениями на наружной и внутренней поверхностях для каждой ограждающей конструкции  $\Delta P_i$ , Па, принимается после определения условно-постоянного давления воздуха в здании  $P_{int}$ , Па, отождествляется с давлениями на внутренних поверхностях наружных ограждающих конструкций, на основе равенства расхода воздуха поступающего в здание и удаляемого из него, за счёт теплового и ветрового давления.

Расчётную разность давлений  $\Delta P_i$ , можно определить по формуле:

$$\Delta P_i = (H-h_i) \cdot g \cdot (p_v - p_n) + 0,5 \cdot V_n^2 \cdot p_n \cdot (c_n - c_3) \cdot k_1 - P_{int}, \quad (3.4)$$

где  $H$  – высота здания, от уровня средней планировочной отметки земли до верха карниза или устья шахты, м;

$h_i$  – расчётная высота, от уровня земли до верха окон или дверей, м;

$(p_v - p_n)$  – разность плотностей соответственно для внутреннего и наружного воздуха, можно определить по формуле (3.5);

$$p_{v,n} = 353 / (t_{v,n} + 273), \quad (3.5)$$

$V_n$  – скорость ветра /2/, м/с;

$c_n, c_3$  – аэродинамические коэффициенты соответственно для наветренной и подветренной поверхностей ограждения здания, принимаемые по /5/;

$k_1$  – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания, принимаемый по /5/;

$P_{int}$  – условно-постоянное давление для помещений (зданий) со сбалансированной вентиляции при отсутствии организованной вентиляции, принимается равным наибольшему избыточному давлению в верхней точке с заветренной стороны здания, обусловленному действием гравитационного и ветрового давлений, определяется по формуле (3.6).

$$P_{int} = 0,5 \cdot H \cdot g \cdot (p_v - p_n) + 0,25 \cdot V_n^2 \cdot p_n \cdot (c_n - c_3) \cdot k_1 \quad (3.6)$$

Итоговые значения сводятся в таблицу.

### 3.1 Расчёт потерь теплоты на нагревание наружного инфильтрирующегося воздуха.

Итак, чтобы рассчитать необходимые значения расхода теплоты идущие на нагревание наружного инфильтрирующегося воздуха, для начала определим плотность наружного и внутреннего воздуха ( $t_b = 18$ ,  $t_n = -34$ ).

$$\rho_b = 353 / (18+273) = 1,213 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_n = 353 / (-34+273) = 1,477 \text{ кг/м}^3.$$

$H = 10,56$  м – по проекту, расстояние от среднего уровня земли до верха карниза крыши.

$$(c_n - c_z) = 0,8 - (-0,6) = 1,4 - \text{значения коэффициентов по /5/}.$$

Тогда условно-постоянное давление будет равно:

$$P_{int} = 0,5 \cdot 10,56 \cdot 9,81 \cdot (1,477 - 1,213) + 0,25 \cdot 4,5^2 \cdot 1,477 \cdot (0,8+0,6) \cdot 0,7 = 20,475 \text{ Па}.$$

В проекте в таблице рассчитан каждый этаж, опишем например расчёт, для окон первого этажа, определяем условное давление на внешней поверхности наружных ограждающих конструкций, равное сумме гравитационного и ветровых давлений,  $h_i=2,8$  – определяется по проекту:

$$P_1 = P_{гр} - P_{ветр} = (10,56 - 2,8) \cdot 9,81 \cdot (1,477 - 1,213) + 0,5 \cdot 4,5^2 \cdot 1,477 \cdot (0,8+0,6) \cdot 0,7 = 33,7 \text{ Па}.$$

Теперь, чтобы определить условное давление в помещениях  $P_{x1}$  составляем уравнение воздушного баланса, для цокольного этажа, принимаем:

- осредненная площадь окон  $A_{ок} = (2,97+2,64) / 2 = 2,805 \text{ м}^2$ ,
- площадь входных дверей  $A_{дв} = (2,25+3,5) / 2 = 2,875 \text{ м}^2$ ,
- сопротивление воздухопроницанию для тройного остекления  $R_{ок} = 1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/кг}$ ,
- сопротивление для наружных деревянных дверей  $R_{дв} = 0,3 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/кг}$ .

В итоге уравнение воздушного баланса, определяемое по формуле:

$$0,216 \cdot (P_1 - P_{x1})^{2/3} \cdot A_{ок} / R_{ок} = (P_{x1} - P_{int})^{1/2} \cdot A_{дв} / R_{дв};$$

Принимает следующий вид:

$$0,216 \cdot (33,7 - P_{x1})^{2/3} \cdot 2,805 / 1 = (P_{x1} - 20,475)^{1/2} \cdot 2,875 / 0,3,$$

$$0,606 \cdot (33,7 - P_{x1})^{2/3} = 9,58 \cdot (P_{x1} - 20,475)^{1/2};$$

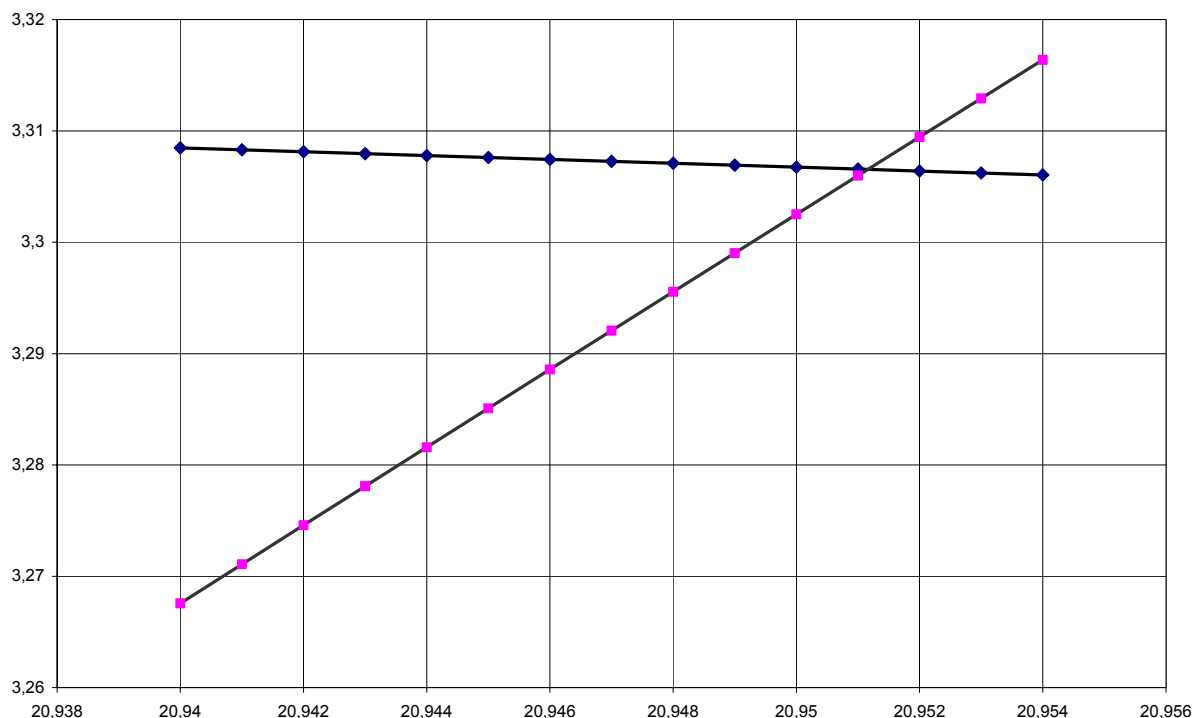


Полученное уравнение решаем графическим способом. Каждая часть данного уравнения считается, как отдельная функция, и изменяя значение  $P_x$  определяют место пересечения этих функций. Расчёт приведен в таблице 3.1, графики представлены на рисунке 3.2.

Таблица 3.1 – Расчётные значения для решения уравнения воздушного баланса.

<b>1 Этаж</b>			
<b><math>P_x</math></b>	<b><math>Y_1</math></b>	<b><math>Y_2</math></b>	<b><math>dltY</math></b>
20,94	3,3084785	3,2675666	0,040912
20,941	3,3083056	3,271078	0,037228
20,942	3,3081328	3,2745857	0,033547
20,943	3,3079599	3,2780896	0,02987
20,944	3,307787	3,2815898	0,026197
20,945	3,3076142	3,2850863	0,022528
20,946	3,3074413	3,288579	0,018862
20,947	3,3072684	3,292068	0,0152
20,948	3,3070955	3,2955534	0,011542
20,949	3,3069226	3,299035	0,007888
20,95	3,3067497	3,302513	0,004237
20,951	3,3065768	3,3059873	0,00059
20,952	3,3064039	3,309458	-0,00305
20,953	3,306231	3,312925	-0,00669
20,954	3,3060581	3,3163885	-0,01033

Рисунок 3.2 – Диаграмма уравнения воздушного баланса для цокольного этажа.



Расчёт потерь теплоты на нагревание наружного инфильтрирующегося воздуха, сведён в таблицу 3.3. Также по полученным данным, построена эпюра давления по высоте здания, рисунок 3.4.

Таблица 3.3 – Потери теплоты на нагрев наружного инфильтрирующегося воздуха.

№ этажа	$h_i$ , м	$(H_{зд}-h_i)$ , м	$P_{гр}$ , Па	$P_{ветр}$ , Па	$P_i$ , Па	$P_x$ , Па	$\Delta P$ , Па	$G$ , кг/ч	$Q$ , Вт/м <sup>2</sup>
3	8,22	2,34	6,0586	13,6086	19,6672	20,499	-0,8318	эксфильтрация	
2	4,7	5,86	15,1724	13,6086	28,781	20,937	7,8440	0,8527	10,31
1	2,8	7,76	20,0918	13,6086	33,7003	20,951	12,7493	1,1788	14,26

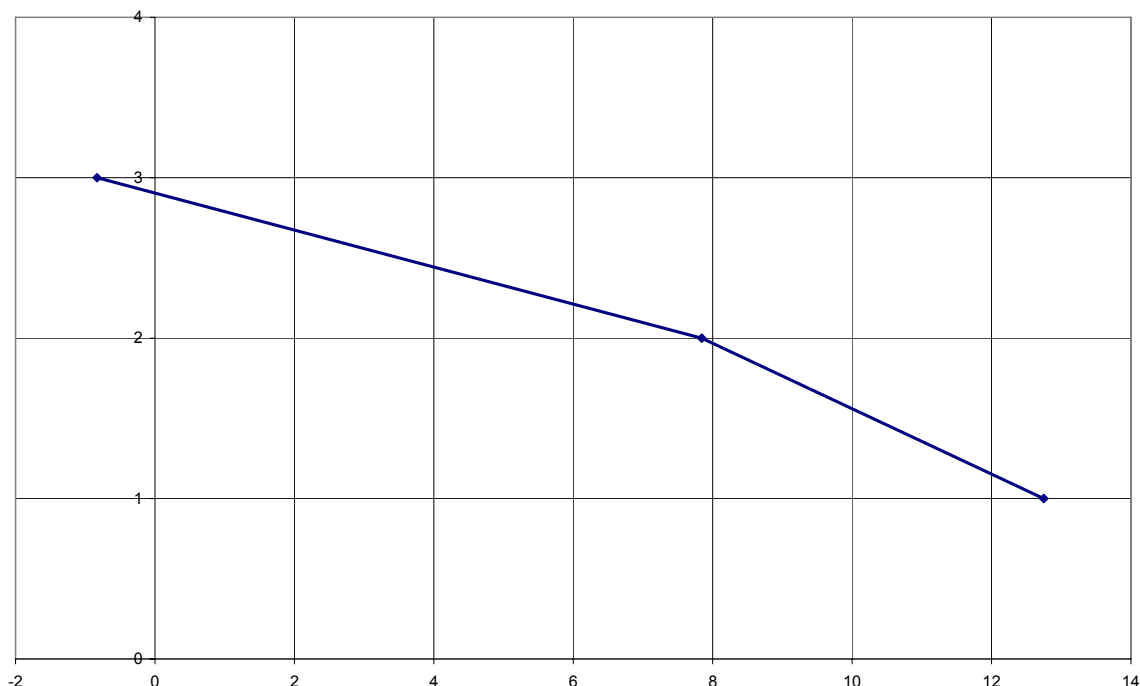
Данные для расчёта

$H_{зд} =$	10,56
$t_{ext} =$	-34
$t_{int} =$	18
$\rho_v =$	1,213
$\rho_n =$	1,477
$V =$	4,5
$k =$	0,65
$k_1 =$	0,8

$R_{ок} =$	1
$R_{дв} =$	0,3
$h_{дв}$	1,78
$A_{дв}$	2,875

$P_{int} =$	20,475
$A_{ср}, м^2$	дополн
3,9	- окна
3,82	- окна
2,805	- окна

Рисунок 3.4 – Эюра давления по высоте здания.



В данном здании запроектирована сбалансированная система приточно-вытяжной вентиляции, поэтому инфильтрующийся воздух можно не учитывать, но т.к. данный курсовой проект носит учебный характер (чтобы овладеть данной методикой) и количество теплоты идущей на нагрев наружного инфильтрующегося воздуха незначительное. Учитываем данные теплотопотери.

#### 4 Порядок расчёта бытовых теплопоступления в помещениях.

В жилых зданиях следует учитывать, теплопоступления от людей, освещения, работающего электрооборудования и т.д. Все эти теплопоступления объединяем, как бытовые теплопоступления и рассчитываем по формуле:

$$Q_b = q_{int} \cdot A_{пл}, \quad (4.1)$$

где  $q_{int}$  – принимается из [3], для жилых зданий из условий социальной нормы, т.е. в зависимости количества общей площади на одного человека, Вт/м<sup>2</sup>.

$A_{пл}$  – площадь пола жилых помещений и кухонь, определяется по проекту, м<sup>2</sup>.

#### 4.1 Расчёт бытовых теплопоступлений.

Согласно [3]  $q_{int}$  принимаем для жилых зданий без ограничения социальной нормы (с расчетной заселенностью квартиры 45 м<sup>2</sup> общей площади и более на человека)  $q_{int} = 10 \text{ Вт/м}^2$ .

Например для кухни на первом этаже, площадь которой 20,6 м<sup>2</sup>. Количество бытовых теплопоступлений будет:

$$Q_6 = 10 \cdot 20,6 = 206 \text{ Вт,}$$

Для всех других комнат расчёт аналогичен, результаты сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Величины бытовых теплопоступлений в жилых комнатах.

№ помещ	Наим помещ	Площадь пола, $A_{пл}$ , м <sup>2</sup>	$t_n$	$t=(t_n-t_H)$ , °C	$Q_i^6$ , Вт
005	Бассейн	76,7	30	64	767
007	Бильярдная	39,4	21	55	394
008	Комн Отдыха	28,1	21	55	281
009	Тренаж зал	28,6	18	52	286
				итог	1728
101	Комн для прислуги	19,73	21	55	197
104	Спальня	22,6	21	55	226
106	Гостиная	39,1	21	55	391
107	Столовая	28,6	21	55	286
108	Кухня	20,6	18	52	206
				итог	1306
201	Спальня	24,8	21	55	248
203	Спальня	19,8	21	55	198
205	Спальня	22,2	21	55	222
207	Кабинет	39	21	55	390
208	Спальня	22	21	55	220
209	Спальня	16,8	21	55	168
				итог	1446
				общий итог	4480

#### 5 Тепловая мощность системы отопления. Сводная таблица.

Тепловая мощность системы отопления равна, сумме теплопотерь через наружные ограждающие конструкции, потерь теплоты на нагрев наружного инфильтрирующегося воздуха и бытовых теплопоступлений (со знаком минус).

Таким образом, получаем следующее уравнение:

$$\Sigma Q = Q_{\text{огр}} + Q_i - Q_6; \quad (5.1)$$

Полученные значения сведены в общую (итоговую) таблицу 5.1 и определяется дефицит теплоты, который должен компенсироваться системой отопления.

Таблица 5.1 Сводная таблица расходов теплоты в помещениях.

№ пом.	1 Этаж				№ пом	2 Этаж			
	Q <sub>огр</sub>	Q <sub>и</sub>	Q <sub>6</sub>	ΣQ		Q <sub>огр</sub>	Q <sub>и</sub>	Q <sub>6</sub>	ΣQ
001	2036	0	0	2036	101	2606	93	197	2502
002	853	0	0	853	102	1040	0	0	1040
003	438	0	0	438	103	1699	31	0	1730
004	973	0	0	973	104	1301	64	226	1139
005	5234	80	767	4547	105	532	31	0	563
006	996	0	0	996	106	2809	186	391	2604
007	1733	0	394	1339	107	1729	62	286	1504
008	1253	0	281	972	108	1810	31	206	1635
009	1693	0	286	1407	109	130	0	0	130
010	316	0	0	316	<b>итого 12847</b>				
011	310	0	0	310					
<b>итого</b>				<b>13562</b>					

Продолжение таблицы 5.1.

№ пом	3 Этаж		
	Q <sub>огр</sub>	Q <sub>6</sub>	ΣQ
201	2763	248	2515
202	1325	0	1325
203	1171	198	973
204	1015	0	1015
205	1706	222	1484
206	787	0	787
207	3637	390	3247
208	2022	220	1802
209	1961	168	1793
210	357	0	357
211	181	0	181
212	130	0	130
213	1000	0	1000
<b>итого</b>			<b>16610</b>
<b>общ итог</b>			<b>43644</b>

Теперь можно определить годовые затраты теплоты на отопления данного здания

$$Q_{от}^{год} = Q_{от} \cdot Z_{от.пер.} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot (t_n - t_{от.п.}) / (t_n - t_{н.р.}) = 43644 \cdot 21 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot (55 / 27,5) \\ = 158,4 \text{ ГДж.}$$

## 6 Оценка тепловой эффективности здания.

Оценку тепловой эффективности здания производят по многим параметрам и методикам расчёта, в курсовом проекте приведены некоторые из них:

- $q_1$  – удельный расход теплоты на отопление одного  $m^2$  общей площади здания сравнивается с табличным значением определяемым по этажности здания и расчётной наружной температуры.

$$q_1 = Q_{от}^{год} / A_{общ}, \quad (6.1)$$

- $q_p$  – удельная тепловая характеристика здания сравнивается с нормативной удельной тепловой характеристикой, которую можно определить двумя способами.

$$q_p = \Sigma Q / V_n \cdot (t_n - t_n), \quad (6.2)$$

Величину нормативной удельной тепловой характеристики  $q$  – можно определить двумя способами:

### 1 способ:

$$q = q_0 \cdot \beta_t, \quad (6.3)$$

,где  $q_0$  – эталонная удельная тепловая характеристика, соответствующая разности температур:  $(18+30)=48$  °С (Москва);

$\beta_t$  – температурный коэффициент, учитывающий отклонение фактической от расчётной разности температур, определяемый по формуле:

$$\beta_t = 0,54 + 22 / (t_n - t_n); \quad (6.4)$$

Величину  $q_0$  – можно определить двумя способами:

- по справочнику, в зависимости от этажности и году строительства задания (учитывает, возрастающие с каждым годом нормы по энергоэффективности зданий).

- по формуле:

$$q_0 = 1,16 \cdot [(1+2 \cdot d) \cdot A_{\text{нс}} + A_{\text{зд}}] / V_{\text{п}}; \quad (6.5)$$

, где  $A_{\text{нс}}$  и  $A_{\text{зд}}$  – площади наружных стен и здания в плане,  $\text{м}^2$ ;

$d$  – коэффициент остекленности, равный:

$$d = A_{\text{ок}} / A_{\text{нс+ок}} \quad (6.6)$$

$A_{\text{нс+ок}}$  – суммарная площадь стен и оконных проёмов,  $\text{м}^2$ ;

## 2 способ:

Удельную тепловую характеристику для любого здания можно определить, более точно с помощью формулы Ермолаева:

$$q = 1,08 \cdot \{ P/S \cdot [K_{\text{нс}} + d \cdot (K_{\text{ок}} - K_{\text{нс}})] + 1/h \cdot (0,9 \cdot K_{\text{пт}} + 0,4 \cdot K_{\text{пл}}) \} \quad (6.7)$$

, где  $P$ ,  $S$ ,  $h$  – периметр  $\text{м}$ , площадь  $\text{м}^2$  и высота здания,  $\text{м}$ ;

$K_{\text{нс}}$ ,  $K_{\text{ок}}$ ,  $K_{\text{пт}}$ ,  $K_{\text{пл}}$  – коэффициенты теплопередачи наружных стен, окон, чердачного перекрытия и перекрытия над грунтом.

### 6.1 Расчёт удельного расхода теплоты на отопление.

Для начала рассчитываем,  $q_1$  – удельный расход теплоты на отопление одного  $\text{м}^2$  общей площади здания по формуле (6.1)

$$q_1 = 43644 / 1540,5 = 28,33 \text{ Вт/м}^2$$

Теперь принимаем нормативное значение из таблицы /6/, для 3-этажного многоквартирного здания, построенного после 2000г:  $q_1^{\text{рег}} = 85 \text{ Вт/м}^2$

$q_1 = 31 < q_1^{\text{рег}} = 85$  – условие выполняется. Высокая разница норматива и полученного значения, говорит об устаревших и заниженных требованиях, и вызывает сомнение, в необходимости использования данной методики.

## 6.2 Расчёт удельной тепловой характеристики здания.

Определим удельную тепловую характеристику здания.

$$q_p = 43644 / [3639 \cdot (21+34)] = 0,218 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C});$$

Температурный коэффициент будет равен, учитывая температуру наружного и внутреннего воздуха для Челябинска:

$$\beta_t = 0,54 + 22/(21 + 34) = 0,94$$

Тогда определяем эталонную удельную тепловую характеристику (двумя способами):

- По таблице, в зависимости от этажности – 3-этажное здание и температура наружного воздуха – (-34):

$$q_0 = 0,48 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C});$$

Тогда  $q = 0,48 \cdot 0,94 = 0,45 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ , видим что она почти в два раза больше  $q_p$ , т.е. удовлетворяет необходимым нормам.

- По формуле (6.5), т.к. здание сложное, необходимо рассчитывать каждый этаж, и далее находить среднее значение, результаты расчёта сведены в таблицу. Например, цокольный этаж.

$$A_{зд} = 391,7 \text{ м}^2, A_{ок} = 5,61 \text{ м}^2, A_{нс} = 389,7 \text{ м}^2$$

$$d = 5,61 / (5,61+389,7) = 0,014;$$

$$q_0 = 1,16 \cdot [(1+2 \cdot 0,014) \cdot 389,7 + 391,7] / 1379 = 0,667 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$q_p = 0,671 \cdot 0,94 = 0,627 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

Таблица 6.1 – Расчёт эталонной удельной тепловой характеристики здания.

	$A_{зд}$	$A_{ок}$	$A_{нс}$	$d$	$q_0$	$q$
0 этаж	391,7	5,61	389,7	0,014	0,667	0,627
1 этаж	321,1	48	309,4	0,134	0,732	0,688
2 этаж	321,1	39	309,4	0,112	0,718	0,675
				0,081	итог:	0,661

Видим, что и в этом способе эталонная удельная тепловая характеристика, значительно больше расчётной, это не вызывает удивления, потому что данная формула не учитывает многих особенностей здания, которые влияют на его общую тепловую эффективность.



### 6.3 Эталонная удельная тепловая характеристика, расчёт по формуле Ермолаева.

Рассчитываемое здание сложное, поэтому необходимо производить расчёт для каждого из этажей, а потом находить среднее значение для всего здания. Т.е. сначала для каждого из этажей находим удельную тепловую характеристику без учёта теплопотерь через пол и потолок, далее находим среднее значение удельной тепловой характеристики по стенам, складываем с найденной по потолку и полу, и получаем итоговое значение, которое необходимо сравнить с расчётным значением данной величины. Т.е. если посмотреть на формулу, она состоит из двух частей. Теплопотери через стены и окна и теплопотери через пол и потолок. Итак, сначала рассчитываем теплопотери для наружных стен для 1, 2 и 3 этажей.

$$q_1 = 110,7/391,7 \cdot [0,566 + 0,014 \cdot (1,43 - 0,566)] = 0,168 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}),$$

$$q_2 = 87,9/321,1 \cdot [0,566 + 0,134 \cdot (1,43 - 0,566)] = 0,228 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}),$$

$$q_3 = 87,9/321,1 \cdot [0,566 + 0,112 \cdot (1,43 - 0,566)] = 0,216 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}),$$

$$q_{\text{ср по этажам}} = (0,168 \cdot 391,7 + 0,228 \cdot 321,1 + 0,216 \cdot 321,1) / (391,7 + 321,1 + 321,1) = 0,202 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$q_{\text{пл и пт}} = 1/10,56 \cdot (0,9 \cdot 0,243 + 0,4 \cdot 0,226) = 0,029 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$\text{Тогда } q_0 = 1,08 \cdot (0,202 + 0,029) = 0,249 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C});$$

Результаты расчётов сведены в таблицу.

Таблица 6.3 – расчёт эталонной удельной тепловой характеристики по формуле Ермолаева.

	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>h</b>	<b>Кнс</b>	<b>Кок</b>	<b>P / S</b>	<b>q<sub>ок и нс</sub></b>
<b>0 этаж</b>	110,7	391,7	3,52	0,566	1,429	0,283	0,168
<b>1 этаж</b>	87,9	321,1	3,52	0,566	1,429	0,274	0,228
<b>2 этаж</b>	87,9	321,1	3,52	0,566	1,429	0,274	0,216
						<b>средн.</b>	<b>0,202</b>
				<b>Кпл</b>	<b>Кпт</b>	<b>1 / h</b>	<b>q<sub>пт и пл</sub></b>
<b>пт и пол</b>	198,6	712,8	10,56	0,226	0,243	0,095	0,029
						<b>q<sub>0</sub></b>	<b>0,249</b>

Т.к. пол в цокольном этаже – утеплённый по лагам непосредственно на грунте, рассчитанный по зонам, тогда коэффициент теплопередачи пола, можем определить, вычислив среднее значение, результаты в таблице.

Таблица 6.4 – расчёт коэффициента теплопередачи для пола.

	<b>A<sub>зоны</sub></b>	<b>K<sub>зоны</sub></b>
1 зона	244,8	0,313
2 зона	179,7	0,173
3 зона	67,5	0,092
4 зона	16,5	0,057
	<b>итого:</b>	<b>0,226</b>

В результате, расчёта получаем  $q_p=q$ . Значение удельной тепловой характеристики даже больше на несколько тысячных долей, что указывает на то что здание не удовлетворяет норме, правда на десятые доли процента, поэтому учитывая особенности здания и очень невысокое превышение нормы, оставляем конструкцию без изменений. Столь невысокое расхождение в результатах говорит о том, что формула Ермолаева, позволяет получить очень точные и верные результаты.

## 7. Энергетический паспорт здания.

Т.к. сопротивление теплопроводности стены – меньше нормативного, необходимо произвести расчёт на энергоэффективность, т.е. составить Энергетический паспорт здания. Расчёт производится в соответствии, с нормами /3/ и /7/. Результаты расчёта сведены в таблицу, приложение 3.

Расчётные условия определяем по /2/.

Геометрические показатели определяются по чертежу. Все результаты сведены в таблицу, приложение 3. При расчёте геометрических параметров, сравниваем коэффициент остекленности и коэффициент компактности здания сравниваем с нормируемыми значениями.

$$f = 105,1 / (105,1+837,4) = 0,112 < f^{eg} = 0,18$$

$k_e^{des} = A_e^{sum} / V_h = 1524,2 / 2944,8 = 0,518 < 0,54$  (регламентированное значение принимается по /7/ в зависимости от этажности и внутренней площади).

Теплотехнические показатели сопротивления теплопередаче стен, окон, балконных и входных дверей, чердачных перекрытий и утепленного пола по грунту определяются из расчёта или по каталогам производителя, или по результатам лабораторных исследований. Полученные результаты сведены в приложении 3. Нормируемые значения определяем по /3/, в зависимости от D\_d. Далее рассчитываем приведенный коэффициент теплопередачи здания.

$$K_{tr}^m = (A_w/R_w + A_F/R_F + A_{ed}/R_{ed} + A_c/R_c + A_f/R_f) / A_e^{sum} = (837,4/1,77 + 105,1/0,7 + 5,8/0,95 + 277/4,12 + 315,2/4,43) / 1540,5 = 0,5 \text{ Вт/м}^{2 \cdot 0} \text{С}$$

После этого рассчитывается условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплопотери за счёт инфильтрации и вентиляции ( $k_{inf}^m$ ).

$$K_{inf}^m = 0,28 \cdot c \cdot n_a \cdot \beta_v \cdot V_h \cdot \rho_a^{ht} \cdot k / A_e^{sum},$$

$c$  – удельная теплоёмкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°С);

$\beta_v$  – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкции, принимается 0,85;

$V_h$  – отапливаемый объем здания, в геометрических характеристиках, м<sup>3</sup>;

$A_e^{sum}$  – общая площадь, в геометрических характеристиках, м<sup>2</sup>;

$\rho_a^{ht}$  – средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м<sup>3</sup>.

$$\rho_a^{ht} = 353 / [273 + 0,5 \cdot (t_{int} + t_{ext})] = 353 / [273 + 0,5 \cdot (21 - 34)] = 1,32 \text{ кг/м}^3;$$

$t_{int}$ ,  $t_{ext}$  – это расчётная температура внутреннего и наружного воздуха, °С, принимается по /2/.

$n_a$  – средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, ч<sup>-1</sup>, определяемая по формуле;

$$n_a = [ (L_v \cdot n_v) / 168 + (G_{inf} \cdot k \cdot n_{inf}) / (168 \cdot \rho_a^{ht}) ] / (\beta_v \cdot V_h);$$

$L_v$  – количество приточного воздуха, поступающего в здание, принимаем по расчёту, представленного в курсовом проекте по вентиляции.

$$L_v = 6002 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$n_v$  – число часов работы механической вентиляции в течении недели, принимаем равным 168 ч;

$k$  – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в светопрозрачных конструкциях, равный для окон и балконных дверей с двойными раздельным переплётками  $k=0,8$ ;

$n_{inf}$  – число часов учета инфильтрации в течение недели, принимается равным 0 ч;

После этого определяется средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период.

$$n_a = [ (6002 \cdot 168) / 168 + 0 ] / (0,85 \cdot 2761) = 2,56.$$

В итоге рассчитываем условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплотери за счёт вентиляции.

$$K_{inf}^m = 0,28 \cdot 1 \cdot 2,56 \cdot 0,85 \cdot 2761 \cdot 1,32 \cdot 0,8 / 1540 = 1,156 \text{ Вт/м}^{2 \cdot 0} \text{С}.$$

В заключении определяем общий коэффициент теплопередачи здания.

$$K_m = K_{inf}^m + K_{tr}^m = 0,499 + 1,156 = 1,655 \text{ Вт/м}^{2 \cdot 0} \text{С};$$

После переходят к следующей части энергопаспорта здания – это энергетические показатели.

Во-первых, находят общие теплотери здания через НОК за отопительный период.

$$Q_h = 0,0864 \cdot K_m \cdot A_e^{sum} \cdot D_d = 0,0864 \cdot 1,655 \cdot 1540 \cdot 3161 = 696348 \text{ МДж}.$$

Во-вторых, определяют бытовые теплоступления. Принимаем, что  $q_{int}$  – удельные тепловыделения в здании, равны  $10 \text{ Вт/м}^2$ , т.к. по /3/ это значение для жилых зданий без ограничения социальной нормы, с расчётной заселенностью квартиры  $45 \text{ м}^2$  общей площади и более на человека.

$$Q_{int} = 0,0864 \cdot q_{int} \cdot z_{ht} \cdot A_L = 0,0864 \cdot 10 \cdot 218 \cdot 278 = 52362 \text{ МДж}.$$

В-третьих, приступают к расчёту теплоступлений от солнца. При выполнении расчёта, удобно воспользоваться приложением 2, из этой таблицы выписывают все светопрозрачные ограждающие конструкции, их площадь и

расположение по отношению к сторонам света (таблица 7.1). Производится сортировка по сторонам света и суммируется площадь, т.е. определяется суммарная площадь на каждую из сторон света.

Таблица 7.1 – Светопрозрачные ограждающие конструкции.

Назв	Ориент по стор света	Размеры			Площадь
ТО	З	1,5	х	2,0	3
ТО	З	3,0	х	3,0	9
ТО	З	1,5	х	2,0	3
ТО	З	3,0	х	3,0	9
				<b>З</b>	<b>43,57</b>
ТО	С	1,5	х	2,0	3
ТО	С	3,0	х	3,0	9
ТО	С	3,0	х	3,0	9
				<b>С</b>	<b>40,305</b>
ТО	СВ	2,7	х	1,1	2,97
ТО	СВ	1,5	х	2,0	3
ТО	СВ	1,5	х	2,0	3
ТО	СВ	1,5	х	2,0	3
				<b>СВ</b>	<b>11,97</b>
ТО	СЗ	2,4	х	1,1	2,64
ТО	СЗ	1,5	х	2,0	3
ТО	СЗ	3,0	х	2,0	6
ТО	СЗ	1,5	х	2,0	3
ТО	СЗ	3,0	х	2,0	6
ТО	СЗ	3,0	х	2,0	6
				<b>СЗ</b>	<b>26,64</b>
ТО	ЮВ	1,5	х	2,0	3
ТО	ЮВ	1,5	х	2,0	3
ТО	ЮВ	1,5	х	2,0	3
				<b>ЮВ</b>	<b>9</b>
ТО	ЮЗ	1,5	х	2,0	3
БДв	ЮЗ	1,3	х	2,5	3,25
ТО	ЮЗ	1,5	х	2,0	3
БДв	ЮЗ	1,3	х	2,5	3,25
				<b>ЮЗ</b>	<b>12,5</b>

Далее из /2/, выписываем величины солнечной радиации на вертикальные поверхности. На каждую из сторон горизонта, для каждого месяца. Принимаем для Челябинска, продолжительность отопительного периода 218 суток, считаем, что отопительный период продолжается с октября по апрель – это приблизительно 210 суток. Ещё 8 суток принимаем – конец сентября ( $8/30=0,267$ ). В итоге получаем средние значения для каждой стороны света, за отопительный период.

Таблица 7.2 – Значения солнечной радиации на вертикальные поверхности.

	0,267*сент	окт	нояб	дек	январ	фев	мар	апр	сумм
<b>С</b>	0	0	0	0	0	0	0	106	106
<b>Ю</b>	608	598	486	400	425	528	673	638	3910,336
<b>В</b>	366	239	139	93	104	187	327	480	1666,722
<b>З</b>	366	239	139	93	104,0	187	327	480	1666,722
<b>ЮВ</b>	547	476	346	245	313	394	556	592	3068,049
<b>ЮЗ</b>	547	476	346	245	313	394	556	592	3068,049
<b>СВ</b>	185	95	0	0	0	0	130	236	510,395
<b>СЗ</b>	185	95	0	0	0	0	130	236	510,395

В результате рассчитываем теплоступления от солнечной радиации для всего здания, по формуле.

$$Q_s = \tau_f \cdot k_f \cdot (I_c \cdot A_c + I_{св} \cdot A_{св} + \dots + I_{сз} \cdot A_{сз}) = 0,5 \cdot 0,76 \cdot (106 \cdot 40,31 + 1666,72 \cdot 43,57 + 3068,1 \cdot 9 + 3068,1 \cdot 12,5 + 510,4 \cdot 11,97 + 510,4 \cdot 26,64) = 61773 \text{ МДж}$$

В заключении, сначала определяем расход тепловой энергии на отопление здания за отопительный период, по формуле.

$$Q_h^y = [Q_h - (Q_{int} + Q_s) \cdot v \cdot \zeta] \cdot \beta_h = [696348 - (52362 + 61773) \cdot 0,95 \cdot 0,8] \cdot 1,05 = 640085 \text{ МДж.}$$

Потом, определяем расчётный удельный расход тепловой энергии на отопление здания.

$$q_h^{des} = 10^3 \cdot Q_h^y / (V_h \cdot D_d) = 10^3 \cdot 640085 / (2761 \cdot 3161) = 73,35 \text{ КДж}/(\text{м}^3 \times \text{°C} \times \text{сут}).$$

Данное значение сравниваем с нормативным ( $q^{reg}=75$ ), т.к. полученное значение меньше нормируемого, делаем следующий вывод.

Т.к. выполняются санитарно-гигиенические требования (требования №2) и требования по энергетической эффективности (требования №3), но не выполняются требования №1. То по /3/, это здание удовлетворяет необходимым требованиям.

## Библиография

1. СНиП 41-01-2003 “Отопление и вентиляция”.
2. СНиП 21-01-99 “Строительная климатология”.
3. СНиП 23-02-2003 “Тепловая защита зданий”.
4. СНиП 2.04.05-91\* “Отопление и вентиляция”.
5. “Теоретические основы создания микроклимата в помещении“, Учебное пособие, Н.Т. Магнитова, Ч. 2004г.
6. “АВОК“ №2, 2005г.
7. СП 23-101-2004 “Тепловая защита зданий”.