

**Министерство общего и профессионального  
образования Российской Федерации  
Хабаровский государственный технический университет**

**Кафедра ТТГВ**

**Теплотехнический расчет наружных ограждений и  
расчет  
теплового режима помещения  
Курсовая работа  
КП ТТГВ Строительная теплофизика 973063**

Выполнил: ст. гр. ТВ-71  
Гуляко Ф.В.  
Проверил: преподаватель  
Ткаченко Н. В.

***Хабаровск 1999 г.***

## **Реферат**

В данной курсовой работе произведен расчет жилого девятиэтажного здания. Целью данного проекта является закрепление теоретических знаний, полученных в процессе изучения курса “Строительная теплофизика”.

**Количество листов - 36**

**Количество таблиц - 8**

**Количество рисунков - 10**

# Содержание

	Страница
Введение	5
1 Расчетная часть	6
1.1 Выбор исходных данных	6
1.2 Теплотехнический расчет наружных ограждений	8
1.3 Определение температуры в характерных сечениях ограждения	11
1.4 Проверка наружного угла на возможность конденсации водяного пара на его внутренней поверхности	14
1.5 Анализ влажностного режима ограждения	14
1.6 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче	19
1.7 Расчет нестационарного температурного поля методом конечных разностей	20
1.8 Расчет теплопотерь помещения	22
1.9 Расчет теплопотерь по укрупненным показателям	24
1.10 Расчет расхода теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха	25
1.11 Расчет тепловой мощности системы отопления	27
2 Расчет теплового режима помещения	28
2.1 Определение амплитуды колебания температуры помещения при периодическом отоплении	28
2.2 Расчет температуры нагретой поверхности	30
2.3 Проверка соответствия температурных условий в помещении первому условию комфортности	31
2.4 Проверка выполнения второго условия комфортности	32
Заключение	33
Список используемой литературы	34
Приложение - план здания	35

# Введение

Строительная теплофизика играет важную роль во всех отраслях промышленности и в обеспечении условий для комфортной жизни каждого человека.

Эффективность капитальных вложений в строительство определяется в значительной мере стоимостью сооружения систем, особенно кондиционирование воздуха, доля которой в общем объеме затрат для ряда современных производств (радиотехническая промышленность, промышленность искусственного волокна) составляет до 30%. В расходах на эксплуатацию здания и его инженерного оборудования доля, приходящаяся на систему кондиционирования, может составлять 60-80%. Эти эксплуатационные расходы за обычный срок службы здания соизмерим с полной стоимостью его постройки.

В настоящее время большинство городов имеет разветвленную систему теплоснабжения. Создаются системы дальнего прямоточного теплоснабжения. В практике строительства используются самые различные виды как отопительных, так и вентиляционных систем. В крупнообъемных зданиях наряду с радиаторными нашли применение панельно-лучистые, воздушные и конвекторные системы отопления. Начинают применяться системы электрического и газового отопления (газовые инфракрасные излучатели). В последние годы значительно возрос промышленный выпуск кондиционеров. Большинство крупных общественных зданий и многие промышленные производства обслуживаются системами кондиционирования воздуха. Ведутся работы по организации центрального хладоснабжения, выявление и использование дешевых источников тепла и холода; в системах кондиционирования используются озонирование, ионизация воздуха и пр. Если во многих странах за рубежом в отопительных установках используется преимущественно один вид топлива (в Западной Европе - мазут, в странах Восточной Европы - бурый уголь), то в нашей стране применяют различные виды местного топлива - газ, мазут, уголь, торф, сланцы - дрова и т.д. Таковы тенденции развития отдельных направлений техники теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха.

В условиях рыночной экономики и всевозрастающих потребностей, как промышленности, так и жилищного уровня людей, большое значение имеет увеличение термического сопротивления ограждения в 2-3 раза, что позволяет уменьшить бесполезные потери тепла и тем самым уменьшить расход топлива. Также огромное значение для данной отрасли представляет введение и использование автоматических систем и установка счетчиков. Это позволяет экономичнее расходовать энергию и топливо и снизить затраты на ее использование.

# 1 Расчетная часть

## 1.1 Выбор исходных данных

### 1.1.1 Характеристика здания

1. Назначение здания : жилое
2. Район постройки : Ростов-на-Дону
3. Число этажей : 7
4. Наличие чердака : есть
5. Ориентация главного фасада : Запад
6. Расчетная температура внутреннего воздуха в помещениях здания :  
 $t^{\text{ср.ж.к.}}=18^{\circ}\text{C}$   
 $t^{\text{уг.ж.к.}}=20^{\circ}\text{C}$   
 $t^{\text{кух}}=18^{\circ}\text{C}$   
 $t^{\text{л.к.}}=16^{\circ}\text{C}$   
 $t^{\text{мус.}}=5^{\circ}\text{C}$
7. Расчетное значение относительной влажности внутреннего воздуха :  
 $\varphi_{\text{в}}=55\%$

### 1.1.2 Климатическая характеристика района постройки

1. Средняя температура наиболее холодной пятидневки :  $t^5=-22^{\circ}\text{C}$
2. Средняя температура отопительного периода :  $t_{\text{от}}=-1.1^{\circ}\text{C}$
3. Продолжительность отопительного периода :  $z_{\text{от}}=175$  сут.
4. Средняя температура наиболее холодного месяца :  $t=-5.7^{\circ}\text{C}$
5. Относительная влажность наружного воздуха:  $\varphi_{\text{н}}=84\%$
6. Расчетная скорость ветра для холодного периода года:  $v=6.5$  м/с
7. Влажностная зона : сухая

(Условия эксплуатации: А)

### 1.1.3 Характеристика ограждающих конструкций

Таблица 1.1 Характеристика ограждающих конструкций

Наименование ограждений	Эскиз Конструкции	Материал слоя	$\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	$C_0$ , кДж/кг <sup>0</sup> С	$\lambda$ , Вт/мС	$S$ , Вт/м <sup>2</sup> <sup>0</sup> С	$\mu$ , мг/мч Па
Наружная стена		<b>(1),(5)- отделочные слои</b>	1700	0,84	0,7	9,6	0,09
		<b>(2),(4)-бетон, аглопоритобетон</b>	1600	0,84	0,58	8,43	0,09
		<b>(3)- утеплитель Вермуликобетон</b>	300	0,84	0,09	1,52	0,23
Чердак		(1) Железобетонная пустотная панель	2500	0,84	1,92	17,98	0,03
		(2) Один слой рубероида S=1,5мм	600	1,68	0,17	3,53	1,1
		(3) Слой утеплителя вермуликкулита впученного	100	0,84	0,076	0,7	0,3
		(4) Цементно-песчаная стяжка	1800	0,84	0,76	9,6	0,09
Подвальное перекрытие		(1) Железобетонная плита	2500	0,84	1,92	17,98	0,03
		(2) Слой утеплителя из вермуликкулита впученного	200	0,84	0,09	1,08	0,23
		(3) Стяжка из литого асфальтобетона	2100	1,68	1,05	16,43	0,008
		(4) Прослой из холодной мастики S=1мм	--	--	--	--	--
		(5) Паркет (дуб поперек волокон)	700	2,30	0,18	5,00	0,05
Внутренние стены		Железобетонная перегородочная панель 0,2м	2500	0,84	1,92	17,98	0,03
Междуэтажное перекрытие		1. Железобетонная пустотная панель ( $\delta=0,22$ м)	2500	0,84	1,92	17,98	0,03
		2. Покрытие из паркета (дуб поперек волокон $\delta=0,005$ м)	700	2,3	0,18	5,00	0,05

Внутр. Двери		Деревянные, размером 1,3 x 2,2 ; $\delta=0,04$	500	2,3	0,14	3,87	0,06
-----------------	--	---	-----	-----	------	------	------

## 1.2 Теплотехнический расчет наружных ограждений

### 1.2.1 Теплотехнический расчет наружной стены

1) Определение требуемого сопротивления теплопередаче

$$R_o^{mp} = \frac{n \cdot (t_e - t_n)}{\alpha_e \cdot \Delta t_n} = \frac{1 \cdot (18 + 22)}{8.7 \cdot 4} = 1.149$$

$t_n = t_n^5 = -22^\circ\text{C}$  - температура холодной пятидневки

$t_e = 18^\circ\text{C}$

$\Delta t_n = 4.0^\circ\text{C}$

$n = 1$

$$\alpha_e = 8.7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

2) Определение требуемого сопротивления с точки зрения энергосбережения

$$G_{СОП} = (t_e - t_n) \cdot Z_{от}$$

$t_{от} = -1.1^\circ\text{C}$  - средняя температура отопительного периода

$Z_{от} = 175$  сут. - продолжительность отопительного периода

$$G_{СОП} = (18 + 1.1) \cdot 175 = 3342.5$$

$$R_o^3 = 2.569 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

3) Определение оптимального сопротивления теплопередаче

$$R_o^{opt} = \sqrt{\frac{(t_e - t_n) \cdot Z_{от} \cdot 24 \cdot S_m \cdot T}{\lambda_{mu} \cdot S_{mu}}} = \sqrt{\frac{(18 + 1.1) \cdot 175 \cdot 24 \cdot 11 \cdot 8.33 \cdot 10^{-6}}{0.09 \cdot 56}} = 1.459 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

4) Выбор расчетного сопротивления теплопередаче

$$R_o^{расч} = 2.569 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$$

5) Определение толщины слоя теплоизоляции

$$R_o^{расч} = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_x}{\lambda_x} + \frac{1}{\alpha_n}$$

$$\delta_x = \lambda_x \cdot [R_o^{расч} - (\frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_n})]$$

$$\delta_x = 0.09 \cdot \left[ 2.569 - \left( \frac{1}{8.7} + \frac{0.35}{0.58} + \frac{0.02}{0.7} + \frac{0.015}{0.7} + \frac{1}{23} \right) \right] = 0.158 \text{ м}$$

6) Выбор стандартной толщины слоя теплоизоляции

Плиты из вермуликобетона:  $2 \times 80 \text{ мм} = 160 \text{ мм}$

7) Определение фактического сопротивления теплопередаче

$$R_o = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_c}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_n}$$

$$R_o = \frac{1}{8.7} + \frac{0.02}{0.7} + \frac{0.2}{0.58} + \frac{0.160}{0.09} + \frac{0.15}{0.58} + \frac{0.015}{0.7} + \frac{1}{23} = 2.589 \frac{M^2 \cdot ^\circ C}{Bt}$$

$$8) \text{ Определение коэффициента теплопередачи } K = \frac{1}{R_o} = \frac{1}{2.589} = 0.386 \frac{Bt}{M^2 \cdot ^\circ C}$$

### 1.2.2 Теплотехнический расчет неотапливаемых подвалов

$$1) R_o^{mp} = \frac{n \cdot (t_g - t_n)}{\alpha_g \cdot \Delta t_n} = \frac{0.75 \cdot (18 + 22)}{8.7 \cdot 2} = 1.724$$

$$2) \text{ ГСОП} = (18 + 1.1) \cdot 175 = 3342.5$$

$$R_o^3 = 3.404 \frac{M^2 \cdot ^\circ C}{Bt}$$

$$3) R_o^{расч} = 3.404 \frac{M^2 \cdot ^\circ C}{Bt}$$

$$4) R_o^{расч} = \frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta x}{\lambda x} + \frac{1}{\alpha_n}$$

$$\delta_x = \lambda_x \cdot \left[ R_o^{расч} - \left( \frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_n} \right) \right]$$

$$\delta_x = 0.09 \cdot \left[ 3.404 - \left( \frac{1}{8.7} + \frac{0.018}{0.18} + \frac{0.015}{1.05} + \frac{0.12}{1.92} + \frac{1}{17} \right) \right] = 0.275 \text{ м}$$

5) Слой утеплителя из вермуликюлита вспученного 4x70 мм = 280 мм

$$6) R_o = \frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_c}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_n}$$

$$R_o = \frac{1}{8.7} + \frac{0.018}{0.18} + \frac{0.015}{1.05} + \frac{0.12}{1.92} + \frac{0.28}{0.09} + \frac{1}{17} = 3.462 \frac{M^2 \cdot ^\circ C}{Bt}$$

$$7) K = \frac{1}{R_o} = \frac{1}{3.462} = 0.289 \frac{Bt}{M^2 \cdot ^\circ C}$$

### 1.2.3 Теплотехнический расчет чердачного перекрытия

$$1) R_o^{mp} = \frac{n \cdot (t_g - t_n)}{\alpha_g \cdot \Delta t_n} = \frac{0.9 \cdot (18 - (-22))}{8.7 \cdot 3} = 1.379$$

$$2) \text{ ГСОП} = (18 + 1.1) \cdot 175 = 3342.5$$

$$R_o^3 = 3.404 \frac{M^2 \cdot ^\circ C}{Bt}$$

$$3) R_o^{расч} = 3.404 \frac{M^2 \cdot ^\circ C}{Bt}$$

$$4) R_o^{расч} = \frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta x}{\lambda x} + \frac{1}{\alpha_n}$$

$$\delta_x = \lambda_x \cdot \left[ R_o^{расч} - \left( \frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_n} \right) \right]$$

$$\delta_x = 0.076 \cdot \left[ 3.404 - \left( \frac{1}{8.7} + \frac{0.03}{0.76} + \frac{0.0015}{0.17} + \frac{0.22}{1.37} + \frac{1}{12} \right) \right] = 0.228 \text{ м}$$

5) Слой утеплителя из вермуликюлита вспученного 4x60 мм = 240 мм

$$6) R_o = \frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_c}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_n}$$

$$R_o = \frac{1}{8.7} + \frac{0.03}{0.76} + \frac{0.0015}{0.17} + \frac{0.22}{1.37} + \frac{0.24}{0.076} + \frac{1}{12} = 3.565 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

$$7) K = \frac{1}{R_o} = \frac{1}{3.565} = 0.28 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$$

## 1.2.4 Теплотехнический расчет окон

$$G_{СОП} = (t_b - t_{от}) \cdot Z_{от} = (18 + 1.1) \cdot 175 = 3342.5 \Rightarrow R^o = 0,38 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

$$(t_b - t^s) = 40 \Rightarrow R^o = 0,39$$

$$R_{фак} = 0,39 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} - \text{двойное остекление в деревянных спаренных переплетах}$$

## 1.2.5 Теплотехнический расчет наружных дверей

$$R_{0.дв.}^{тр} = 0.6 \cdot R_{0.ст.}^{тр} = 0.6 \cdot 1.149 = 0.689 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} - \text{двойные двери с тамбуром}$$

**Таблица 1.2 - Результаты теплотехнического расчета наружных ограждений**

Вид ограждений	Толщина $\delta$ , мм	Требуемое сопротивление теплопередаче $R_0^{тр}$ , $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$	Фактическое сопротивление теплопередаче $R_0^{фак}$ , $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$	Коэффициент теплопередачи $K$ , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$
1. Наружные стены	160	1.149	2.589	0.386
2. Неотапливаемые подвалы	280	1.724	3.462	0.289
3. Чердак	240	1.379	3.565	0.28
4. Окна		0.38	0.39	2.63
5. Наружные двери		0.689	0.689	1.45

### 1.3 Определение температуры в характерных сечениях

ограждения

$$t_x = t_g - \frac{R_{g-x}}{R_o} (t_g - t_n), \quad (1.5)$$

где  $R_{в-х}$  – сопротивление теплопередаче от воздуха помещения до характерного сечения в ограждении,  $\frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$ ;

$t_n = t_n^5 = -22^\circ C$  – средняя температура наиболее холодной пятидневки.

$$t_B = 18^\circ C$$

$$t_1 = 18 - \frac{1}{\frac{1}{2.59} + \frac{8.7}{0.7}} (18 + 22) = 16.22^\circ C$$

$$t_2 = 18 - \frac{1}{\frac{1}{2.59} + \frac{0.02}{0.7} + \frac{8.7}{0.7}} (18 + 22) = 15.78^\circ C$$

$$t_3 = 18 - \frac{1}{\frac{1}{2.59} + \frac{0.02}{0.7} + \frac{0.2}{0.58} + \frac{8.7}{0.7}} (18 + 22) = 10.46^\circ C$$

$$t_4 = 18 - \frac{1}{\frac{1}{2.59} + \frac{0.02}{0.7} + \frac{0.2}{0.58} + \frac{0.16}{0.09} + \frac{8.7}{0.7}} (18 + 22) = -16.99^\circ C$$

$$t_5 = 18 - \frac{1}{\frac{1}{2.59} + \frac{0.02}{0.7} + \frac{0.2}{0.58} + \frac{0.16}{0.09} + \frac{0.15}{0.58} + \frac{8.7}{0.7}} (18 + 22) = -20.99^\circ C$$

$$t_6 = 18 - \frac{1}{\frac{1}{2.59} + \frac{0.02}{0.7} + \frac{0.2}{0.58} + \frac{0.16}{0.09} + \frac{0.15}{0.58} + \frac{0.015}{0.7} + \frac{8.7}{0.7}} (18 + 22) = -21.32^\circ C$$

$$t_n^{x.M.} = -22^\circ C$$

$t_n = t = -5.7$  – средняя температура наиболее холодного месяца.

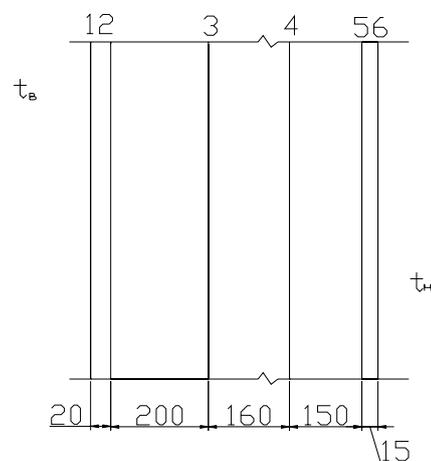
$$t_B = 18^\circ C$$

$$t_1 = 18 - \frac{1}{\frac{1}{2.59} + \frac{8.7}{0.7}} (18 + 5.7) = 16.95^\circ C$$

$$t_2 = 18 - \frac{1}{\frac{1}{2.59} + \frac{0.02}{0.7} + \frac{8.7}{0.7}} (18 + 5.7) = 16.69^\circ C$$

$$t_3 = 18 - \frac{1}{\frac{1}{2.59} + \frac{0.02}{0.7} + \frac{0.2}{0.58} + \frac{8.7}{0.7}} (18 + 5.7) = 13.53^\circ C$$

$$t_4 = 18 - \frac{1}{\frac{1}{2.59} + \frac{0.02}{0.7} + \frac{0.2}{0.58} + \frac{0.16}{0.09} + \frac{8.7}{0.7}} (18 + 5.7) = -2.74^\circ C$$



$$t_5 = 18 - \frac{\frac{1}{8.7} + \frac{0.02}{0.7} + \frac{0.2}{0.58} + \frac{0.16}{0.09} + \frac{0.15}{0.58}}{2.59} (18 + 5.7) = -5.1^\circ\text{C} \quad \text{Рисунок 1.1-Наружная стена}$$

$$t_6 = 18 - \frac{\frac{1}{8.7} + \frac{0.02}{0.7} + \frac{0.2}{0.58} + \frac{0.16}{0.09} + \frac{0.15}{0.58} + \frac{0.015}{0.7}}{2.59} (18 + 5.7) = -5.3^\circ\text{C}$$

$$t_n^{x.m.} = -5,7^\circ\text{C}$$

1.4 Проверка наружного угла на возможность конденсации водяного пара на его внутренней поверхности

$$\theta_{yz} = \frac{t_6 - \tau_{yz}}{t_6 - t_n} = 0.15 - \text{определяется по таблице (т.к. } R_0 > 2.15 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}})$$

$$\tau_{yz} = t_6 - 0.15 \cdot (t_6 - t_n), \quad (1.6)$$

$$\text{где } t_6 = t_6^{yz} - \frac{1}{\alpha_6 \cdot R_0} (t_6^{yz} - t_n) = 20 - \frac{1}{8.7 \cdot 2.59} (20 + 22) = 18.14^\circ\text{C}.$$

$$\tau_{yz} = 18.14 - 0.15 \cdot (18.14 + 22) = 12.12^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{т.р.}} = 8.96^\circ\text{C} - \text{температура точки росы}$$

Т.к.  $t_{\text{т.р.}} < \tau_{yz}$ , то конденсация водяного пара на внутренней поверхности ограждения невозможна.

## 1.5 Анализ влажностного режима ограждения

Анализ влажностного режима проводится исходя из условия стационарного состояния и с учетом только диффузии водяного пара через ограждение. В результате расчета необходимо убедиться в отсутствии конденсации водяного пара в толще ограждения при средней температуре наиболее холодного месяца.

### 1.5.1 Определение общего сопротивления паропрооницанию конструкции стены

$$R_n = R_{\text{нев}} + \sum_{n=1}^i \frac{\delta_i}{\mu_i} + R_{\text{пн}}, \quad (1.7)$$

где  $R_{\text{нев}}$  – сопротивление влагообмену на внутренней поверхности ограждения,

$$\text{принимается равным } 0.0267 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}};$$

$R_{\text{пн}}$  – сопротивление влагообмену на наружной поверхности ограждения,

$$\text{принимается равным } 0.0053 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}};$$

$\delta_i, \mu_i$  - толщины, м, и коэффициенты паропроницаемости,  $\frac{мг}{м \cdot ч \cdot Па}$ , отдельных материальных слоев конструкции.

$$R_n = 0.0267 + \frac{0.02}{0.09} + \frac{0.2}{0.09} + \frac{0.16}{0.23} + \frac{0.15}{0.09} + \frac{0.015}{0.09} + 0.0053 = 5.00 \frac{мг}{м^2 \cdot ч \cdot Па}$$

### 1.5.2 Расчет интенсивности потока водяного пара через ограждение

$$q_n = \frac{e_e - e_n}{R_n}, \quad (1.8)$$

где  $e_e$  - парциальное давление водяного пара во внутреннем воздухе помещения, гПа;

$e_n$  - парциальное давление водяного пара в наружном воздухе, гПа.

$$e_{e(n)} = E_{e(n)} \cdot \varphi_{e(n)}, \quad (1.9)$$

где  $E_{e(n)}$  - парциальное давление водяного пара во внутреннем (наружном) воздухе при полном насыщении;

$\varphi_{e(n)}$  - относительная влажность внутреннего (наружного) воздуха в долях единицы.

$$e_e = 0.55 \cdot E_e = 0.55 \cdot 2065 = 1135.75 \text{ Па}$$

$$e_n = 0.86 \cdot E_n = 0.84 \cdot 395 = 331.8 \text{ Па}$$

$$q_n = \frac{1135.75 - 331.8}{5.00} = 160.8 \frac{мг}{м^2 \cdot ч}$$

### 1.5.3 Выявление зоны возможной конденсации водяного пара в толще стены

Для выявления зоны возможной конденсации водяного пара в толще стены графическим методом необходимо построить кривые изменения фактического парциального давления водяных паров  $e$  и максимального парциального давления водяных паров  $E$  (при полном насыщении).

Кривые изменения фактического парциального давления водяных паров  $e_x = f(x)$  построим по значениям парциального давления в характерных сечениях.

$$e_x = e_6 - \frac{R_{пв-x}}{R_n} (e_6 - e_n), \quad (1.10)$$

где  $R_{пв-x}$  – сопротивление паропроницанию от воздуха помещения до сечения  $x$ , в котором определяется парциальное давление.

$$e_6 = 1135.75 \text{ Па}$$

$$e_1 = 1135.75 - \frac{0.0267}{5} (1135.75 - 331.8) = 1131.46 \text{ Па}$$

$$e_2 = 1135.75 - \frac{0.0267 + \frac{0.02}{0.09}}{5} (1135.75 - 331.8) = 1095.72 \text{ Па}$$

$$e_3 = 1135.75 - \frac{0.0267 + \frac{0.02}{0.09} + \frac{0.2}{0.09}}{5} (1135.75 - 331.8) = 738.41 \text{ Па}$$

$$e_4 = 1135.75 - \frac{0.0267 + \frac{0.02}{0.09} + \frac{0.2}{0.09} + \frac{0.16}{0.23}}{5} (1135.75 - 331.8) = 626.56 \text{ Па}$$

$$e_5 = 1135.75 - \frac{0.0267 + \frac{0.02}{0.09} + \frac{0.2}{0.09} + \frac{0.16}{0.23} + \frac{0.15}{0.09}}{5} (1135.75 - 331.8) = 358.56 \text{ Па}$$

$$e_6 = 1135.75 - \frac{0.0267 + \frac{0.02}{0.09} + \frac{0.2}{0.09} + \frac{0.16}{0.23} + \frac{0.15}{0.09} + \frac{0.015}{0.09}}{5} (1135.75 - 331.8) = 331.78 \text{ Па}$$

$$e_n = 331.8 \text{ Па}$$

Значения парциального давления водяного пара при полном насыщении определяются по таблице.

Таблица 1.3 – Значение парциального давления водяного пара при полном насыщении

$t_x, ^\circ\text{C}$	$t_6$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	$t_n^{x.m.}$
$E_x, \text{Па}$	<b>2065</b>	<b>1934</b>	<b>1903</b>	<b>1552</b>	<b>497</b>	<b>418</b>	<b>410</b>	<b>395</b>

Из рисунка 1.2 видно, что кривые  $e_x = f(x)$  и  $E_x = f(x)$  пересекаются, следовательно в ограждении возможна конденсация водяного пара. В этом случае необходимо предусмотреть меры, предупреждающие внутреннюю конденсацию.

#### 1.5.4 Выбор дополнительного слоя пароизоляции

- 1)  $t < -5$ : -5.7; -5.1 –  $Z_1=2$
- 2)  $-5 < t < 5$ : 0.2; 2.2; -3.1 –  $Z_2=3$
- 3)  $t > 5$ : 9; 16.4; 20; 22.9; 22.1; 16.2; 9.2 –  $Z_3=7$

$$R_{e-4} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0.02}{0.09} + \frac{0.2}{0.09} + \frac{0.16}{0.23} = 3.25 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$$

$$t_k = t_6 - \frac{R_{6-4}}{R_0} (t_6 - t_n)$$

$$t_k = 18 - \frac{3.25}{2.589} (18 + 5.4) = -11.37^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad E_1 = 254 \text{ Па}$$

$$t_k = 18 - \frac{3.25}{2.589} (18 + 0.23) = -4.88^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad E_2 = 425 \text{ Па}$$

$$t_k = 18 - \frac{3.25}{2.589} (18 - 16.54) = 16.17^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad E_3 = 1840 \text{ Па}$$

$$R_{n-n} = \frac{0.015}{0.09} + \frac{0.15}{0.09} = 1.83 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$$

$$E = \frac{1}{12} (E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3) = \frac{1}{12} (254 \cdot 2 + 425 \cdot 3 + 1840 \cdot 7) = 1221.9 \text{ Па}$$

$$R_{n1}^{mp} = \frac{(e_6 - E)}{E - e_n} R_{n-n} = \frac{(1135.75 - 1221.9)}{1221.9 - 331.8} 1.83 = -0.177 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$$

$$R_{n2}^{mp} = \frac{0.0024 \cdot z_0 \cdot (e_6 - E_0)}{\gamma_w \cdot \delta_w \cdot \Delta W_{cp} + \eta}$$

$z_0 = 90$  сут. – количество суток, в которых  $t < 0$

$t_k = t_6 - \frac{R_{6-4}}{R_0} (t_6 - t_n)$ , где  $t_n = -2.73$  – средняя температура всех месяцев, у которых  $t < 0$

$$t_k = 18 - \frac{3.25}{2.589} (18 + 2.73) = -8^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad E_0 = 328 \text{ Па}$$

$\gamma_w = 300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  - для слоя тепловой изоляции;

$\delta_w = 0.16 \text{ м}$  - толщина слоя тепловой изоляции;

$\Delta W_{cp} = 5\%$  - предельно допустимое расчетное массовое содержание влаги в материале;

$e_{н.о.} = 453 \text{ Па}$  - средняя упругость водяного пара наружного воздуха (для месяцев с  $t < 0$ ).

$$\eta = \frac{0.0024 \cdot (E_0 - e_{н.о.}) z_0}{R_{n-n}} = \frac{0.0024 \cdot (328 - 453) \cdot 90}{1.83} = -14.75$$

$$R_{n2}^{mp} = \frac{0.0024 \cdot 90 \cdot (1135.75 - 328)}{300 \cdot 0.16 \cdot 5 - 14.75} = 0.77 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$$

$$R_{n6-4} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0.02}{0.09} + \frac{0.2}{0.09} + \frac{0.16}{0.23} = 3.14 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{мг}}$$

$$R_{n6-4} > R_{n1}^{mp} (3.14 > -0.177) \Rightarrow \text{Конструкцию применять можно}$$

$$R_{n6-4} > R_{n2}^{mp} (3.14 > 0.77)$$

## 1.6 Расчет приведенного сопротивления теплопередаче

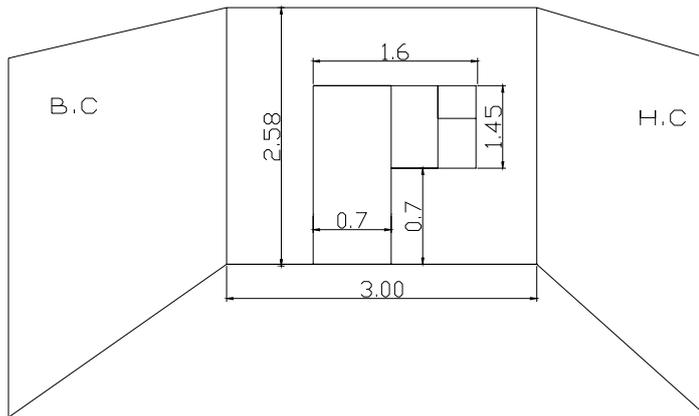


Рисунок 1.5 – Геометрические размеры комнаты

**Таблица 1.4 - Расчет приведенного сопротивления теплопередаче**

№	Наименование элемента	Длина $l_i, м$	Фактор формы $f_i$	$f_i - 1$	$2\varnothing$	$(f_i - 1) \cdot l_i \cdot 2\varnothing$
1	2	3	4	5	6	7
1	Наружный угол	2.58	0.68	-0.32	0.47	-0.388
2	Стык с внутренней перегородкой $\frac{0.5 \cdot \delta_{пер}}{\delta_{ст}} = 0,185$	2.58	0.98	-0.02	0.47	-0.024
3	Стык с перекрытием над подвалом	3.00	0.68	-0.32	0.47	-0.45
4	Стык с междуэтажным перекрытием $\frac{0.5 \cdot \delta_{м.п.}}{\delta_{ст.}} = \frac{0.5 \cdot 0.22}{0.545} = 0.2$	3.00	0.97	-0.03	0.47	-0.042

5	Откос оконного проема $\frac{\square}{\delta_{ст.}} = \frac{0.08}{0.545} = 0.147$	6.8	1.47	0.47	0.19	0.607
---	--	-----	------	------	------	-------

$$\sum_{i=1}^n (f_i - 1) \cdot 2\varnothing \cdot li = -0.297$$

$2\varnothing = 2 \cdot R_0 \cdot \lambda_{m.u.}$  - для стены

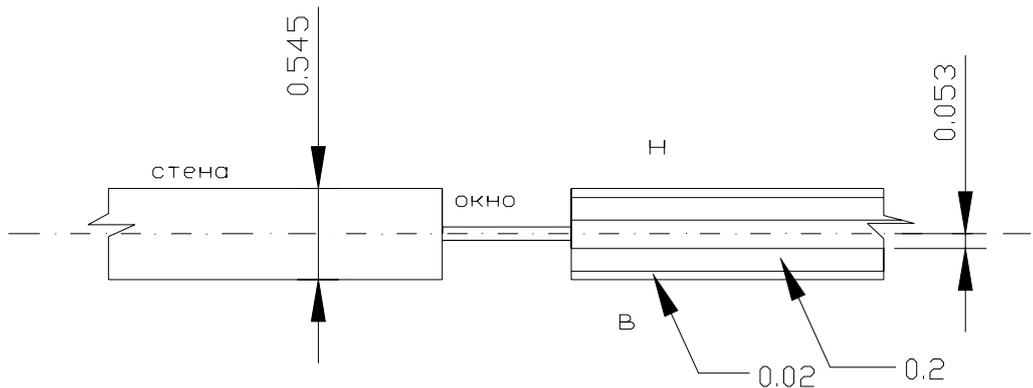


Рисунок 1.6 – Вид стенки в сечении

$$R_{B-O} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{1}{8.7} + \frac{0.02}{0.7} + \frac{0.2}{0.58} + \frac{0.053}{0.09} = 1.077$$

$2\varnothing^{окн} = 2 \cdot R_{B-O} \cdot \lambda_{m.u.}$  - для окна

$$F_{H.C.} = [(3 + 0.1 + 0.545) \cdot 2.58 + 0.22] - (0.7 \cdot 2.15 + 0.9 \cdot 1.45) = 7.396 \text{ м}^2$$

$$R_0^{np} = R_0 \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{F_{H.C.}} \cdot \sum_{i=1}^n [(f_i - 1) \cdot 2\varnothing \cdot li]} = 2.589 \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{7.396} \cdot (-0.297)} = 2.697 \left[ \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \right]$$

Т.к.  $R_0 < R_0^{np}$ , то расчет будем проводить при  $R_0$ .

## 1.7 Расчет нестационарного температурного поля методом конечных разностей

- 1) Разбиваем толщину теплоизоляционного слоя ограждения на элементарные слои  $\Delta x_1$ :

$$\Delta x_1 = \frac{\delta_{m.и.}}{2} = \frac{0.160}{2} = 0.08 \text{ м}$$

- 2) Разбиваем конструктивный слой на элементарные слои  $\Delta x_2$  и  $\Delta x_3$ , исходя из условия:

$$\frac{\Delta x_1}{\Delta x_2} = \sqrt{\frac{a_1}{a_2}},$$

где  $a_1$  и  $a_2$  – коэффициенты температуропроводности соответственно теплоизоляционного и конструктивного слоев,  $\frac{m^2}{c}$

$$a_1 = \frac{\lambda_1}{C_1 \cdot \rho_1} = \frac{0.09}{0.84 \cdot 300} = 3.5 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{c}$$

$$a_2 = \frac{\lambda_2}{C_2 \cdot \rho_2} = \frac{0.58}{0.84 \cdot 1600} = 4.3 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{c}$$

$$a_3 = \frac{\lambda_3}{C_3 \cdot \rho_3} = \frac{0.58}{0.84 \cdot 1600} = 4.3 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{c}$$

$$\Delta x_2 = 0.08 \sqrt{\frac{4.3 \cdot 10^{-4}}{3.5 \cdot 10^{-4}}} = 0.0887 \text{ м}$$

$$\Delta x_3 = 0.08 \sqrt{\frac{4.3 \cdot 10^{-4}}{3.5 \cdot 10^{-4}}} = 0.0887 \text{ м}$$

- 3) Определяем продолжительность расчетного интервала времени  $\Delta z$  (исходя из условия, что  $Fo=1/2$ ) по формуле:

$$\Delta z = \frac{0.278 \cdot C_1 \cdot \rho_1 \cdot \Delta x_1^2}{2 \cdot \lambda_1} = \frac{0.278 \cdot 0.84 \cdot 300 \cdot 0.08^2}{2 \cdot 0.09} = 2.49 \text{ ч}$$

- 4) Определяем толщину внутреннего и наружного эквивалентных слоев:

$$\Delta_{\text{экв.в.}} = \frac{\lambda_2}{\alpha_в} + \delta_{\text{осн2}} + \frac{\delta_{m.с.}}{\lambda_{m.с.}} \cdot \lambda_2 = \frac{0.58}{8.7} + 0.023 + \frac{0.02}{0.7} \cdot 0.58 = 0.106 \text{ м}$$

$$\Delta_{\text{экв.н.}} = \frac{\lambda_1}{\alpha_н} + \delta_{\text{осн1}} + \frac{\delta_{m.с.}}{\lambda_{m.с.}} \cdot \lambda_2 = \frac{0.7}{23} + 0.06 + \frac{0.015}{0.7} \cdot 0.7 = 0.105 \text{ м}$$

- 5) Переходим к термическим координатам:

$$R_{\Delta x_1} = \frac{\Delta x_1}{\lambda_1} = \frac{0.08}{0.09} = 0.889$$

$$R_{\Delta x_2} = \frac{\Delta x_2}{\lambda_2} = \frac{0.0887}{0.58} = 0.153$$

$$R_{\Delta x_3} = \frac{\Delta x_3}{\lambda_3} = \frac{0.0887}{0.7} = 0.127$$

$$R_{\Delta_{\text{экв.в.}}} = \frac{\Delta_{\text{экв.в.}}}{\lambda_{\text{прил}}} = \frac{0.106}{0.58} = 0.183$$

$$R_{\Delta_{\text{экв.нар.}}} = \frac{\Delta_{\text{экв.нар.}}}{\lambda_{\text{прил}}} = \frac{0.105}{0.7} = 0.15$$

- 6) Вычерчиваем сечение ограждения с разбивкой на слои в термических координатах



## 1.8 Расчет теплотерь помещения

Таблица 1.5 - Расчет теплотерь помещения

№ и наиме н. помещ	Расчетн. температ. воздуха в помещ.	Наименов. огражд.	Ориентац. по сторонам света	Размер огражд., м	Площадь огражд., А, м <sup>2</sup>	Расчетная разность температ., (t <sub>в</sub> -t <sub>н</sub> )n	Коэффиц. теплопер., К, $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$	Основные теплопотери	Добавочные теплопотери в долях от основных		(1+Σβ)	Теплопотери через огражд. Q <sub>по</sub> , °C
									на ориентацию	прочие		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
101	20	НС	С	3.23*4.3	13.9	(20+22)*1=42	0.386	225.3	0.1	-	1.1	247.88
		НС	В	3.23*3.5	11.3	(20+22)*1=42	0.386	183.19	0.1	-	1.1	201.5
		Пол	-	3.2*3.8	12.2	(20+22)*0.75=31.5	0.289	111	-	-	1	111
		ДО	В	1.3*1.45	1.88	(20+22)*1=42	2.63	207.7	0.1	-	1.1	228.4
501	20	НС	С	2.8*4.3	12.04	(20+22)*1=42	0.386	195.2	0.1	-	1.1	214.7
		НС	В	2.8*3.5	9.8	(20+22)*1=42	0.386	158.9	0.1	-	1.1	174.8
		ДО	В	1.3*1.45	1.88	(20+22)*1=42	2.63	207.7	0.1	-	1.1	228.4
1001	20	НС	С	3*4.3	12.9	(20+22)*1=42	0.386	209.1	0.1	-	1.1	230
		НС	В	3*3.5	10.5	(20+22)*1=42	0.386	170.2	0.1	-	1.1	187.2
		ДО	В	1.3*1.45	1.88	(20+22)*1=42	2.63	207.7	0.1	-	1.1	228.4
		Пот	-	3.2*3.8	12.2	(20+22)*0.9=37.8	0.28	129.1	-	-	1	129.1
107	20	НС	С	3.23*3.3	10.66	(20+22)*1=42	0.386	172.8	0.1	-	1.1	190
		НС	В	3.23*6	19.4	(20+22)*1=42	0.386	314.2	0.1	-	1.1	345.6
		НС	Ю	3.23*2.2	7.2	(20+22)*1=42	0.386	116.6	0	--	1	116.6
		Пол	-	3.4*5.2	17.7	(20+22)*0.75=31.5	0.289	160.9	-	-	1	160.9
		ДО	В	2.7*1.45	3.9	(20+22)*1=42	2.63	432.4	0.1	-	1.1	475.7
507	20	НС	С	2.8*3.3	9.24	(20+22)*1=42	0.386	149.8	0.1	-	1.1	164.7
		НС	В	2.8*6	16.8	(20+22)*1=42	0.386	272.3	0.1	-	1.1	299.6
		НС	Ю	2.8*2.2	6.16	(20+22)*1=42	0.386	99.87	0	-	1	99.87
		ДО	В	2.7*1.45	3.9	(20+22)*1=42	2.63	432.4	0.1	-	1.1	475.7

### Продолжение таблицы 1.5

1007	20	НС	С	3*3.3	9.9	(20+22)*1=42	0.386	160.5	0.1	-	1.1	176.5
------	----	----	---	-------	-----	--------------	-------	-------	-----	---	-----	-------

		НС	В	3*6	18	$(20+22)*1=42$	0.386	291.8	0.1	-	1.1	321
		НС	Ю	3*2.2	6.6	$(20+22)*1=42$	0.386	107	0	-	1	107
		Пот	-	3.4*5.2	17.7	$(20+22)*0.9=37.8$	0.28	187.3	-	--	1	187.3
		ДО	В	2.7*1.45	3.9	$(20+22)*1=42$	2.63	432.4	0.1	-	1.1	475.7
112	18	НС	З	3.23*3.3	10.7	$(18+22)*1=40$	0.386	164.6	0.05	-	1.05	172.8
		Пол	-	3.3*4.2	13.7	$(18+22)*0.75=20$	0.289	120.2	-	-	1	120.2
		ДО	З	1.7*1.45	2.47	$(18+22)*1=40$	2.63	259.3	0.05	-	1.05	272.3
512	18	НС	З	2.9*3.3	9.24	$(18+22)*1=40$	0.386	142.7	0.05	-	1.05	149.8
		ДО	З	1.7*1.45	2.47	$(18+22)*1=40$	2.63	259.8	0.05	-	1.05	272.8
1012	18	НС	З	3*3.3	9.9	$(18+22)*1=40$	0.386	152.9	0.05	-	1.05	160.5
		Пот	-	3.3*4.2	13.86	$(18+22)*0.9=36$	0.28	139.7	-	-	1	139.7
		ДО	З	1.7*1.45	2.47	$(18+22)*1=40$	2.63	259.8	0.05	-	1.05	272.8
Лестничная клетка	16	НС	В	3.3*2.5-3.3	79.2	$(16+22)*1=38$	0.386	1161.7	0.1	-	1.1	1277.9
		ДО	В	1*0.5*11	5.5	$(16+22)*1=38$	2.63	549.67	0.1	-	1.1	604.6
		Пол	-	2.5*5.3	13.25	$(16+22)*0.75=28.5$	0.289	109.1	-	-	1	109.1
		Пот	-	2.5*5.3	13.25	$(16+22)*0.9=34.2$	0.28	126.9	-	-	1	126.9
Мусоропровод	5	НС	В	1.9*28.6	54.4	$(5+22)*1=27$	0.386	566.9	0.1	-	1.1	623.6
		ДО	В	1*1.45*10	14.5	$(5+22)*1=27$	2.63	1029	0.1	-	1.1	1132
		Пол	-	2.5*1.9	4.75	$(5+22)*0.75=20.2$	0.289	27.7	-	-	1	27.7
		Пот	-	2.5*1.9	4.75	$(5+22)*0.9=24.3$	0.28	32.3	-	-	1	32.3

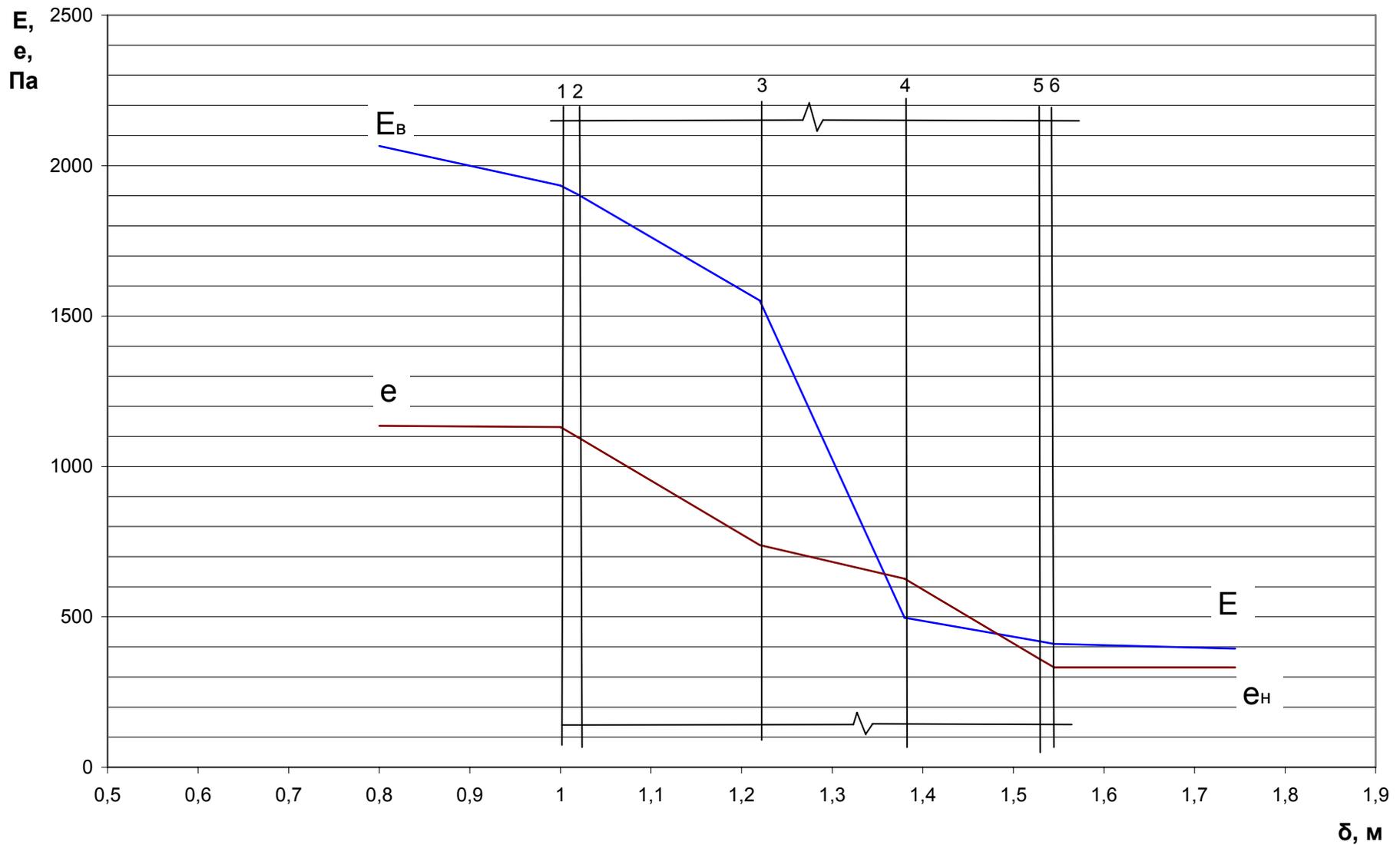


Рисунок 1.4 - Изменение фактического парциального давления водяных паров  $e$  и максимального парциального давления водяных паров  $E$  по толще ограждения

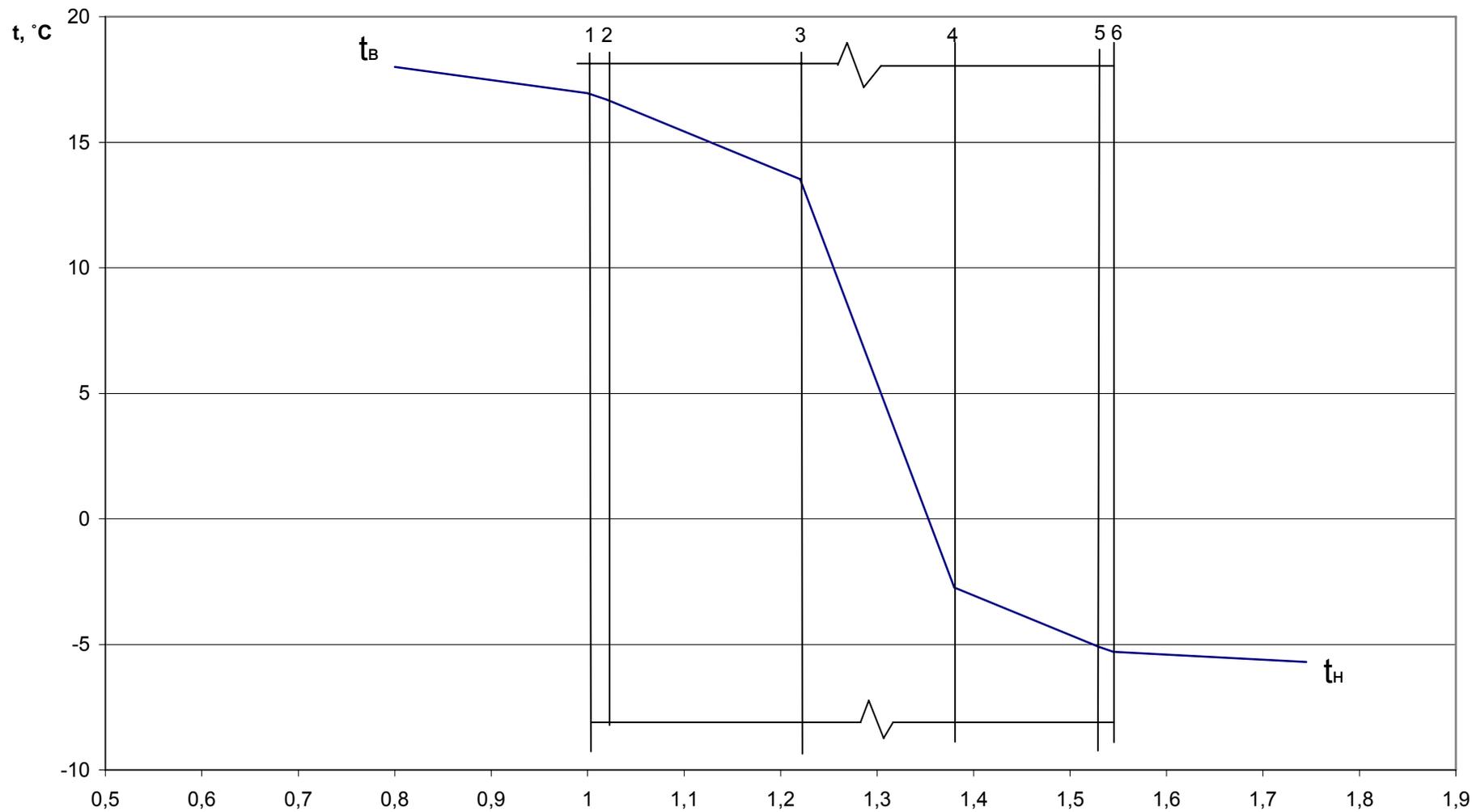


Рисунок 1.3 - Распределение температуры по сечению ограждения (холод. мес.)

$\delta$ , м

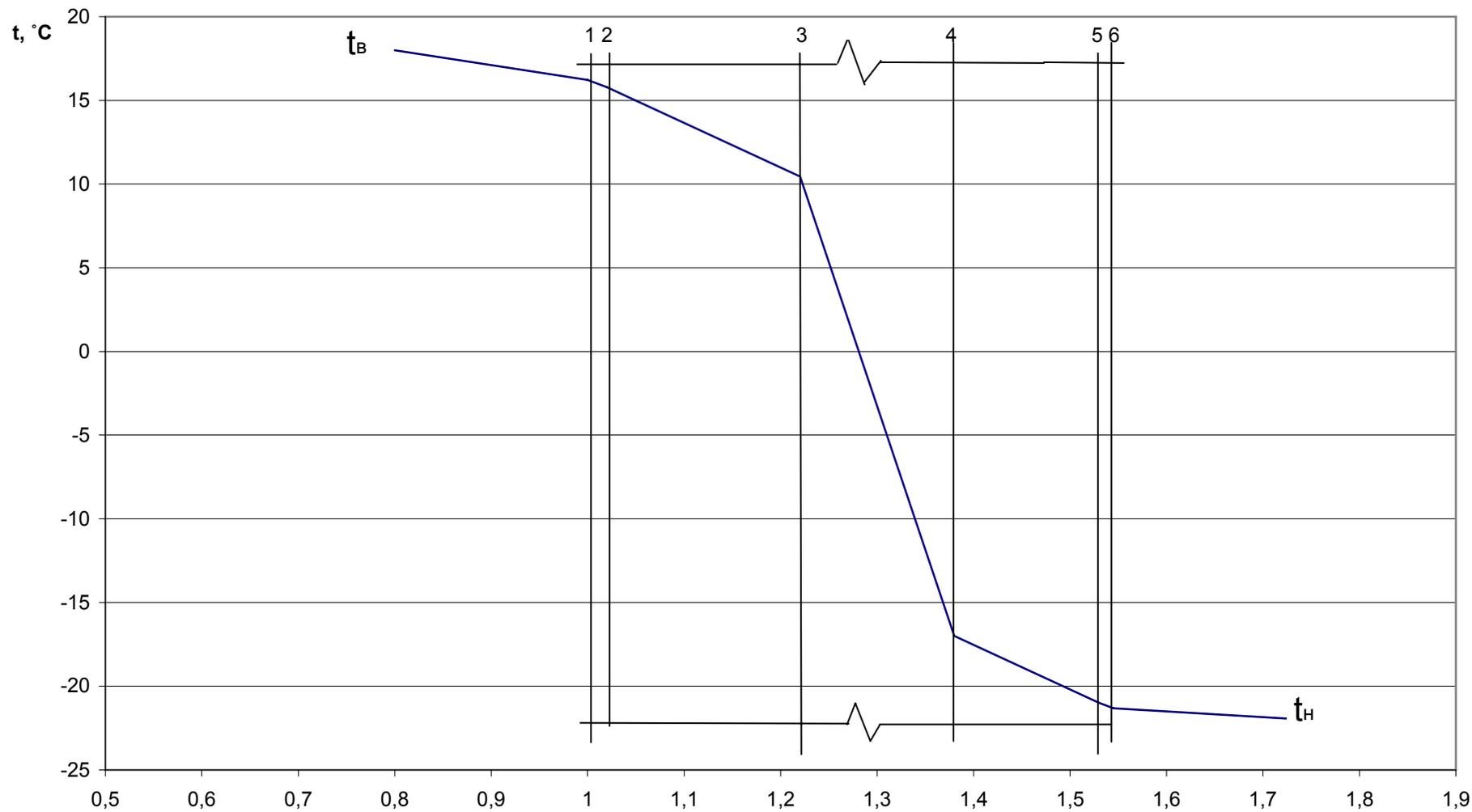


Рисунок 1.2 - Распределение температуры по сечению ограждения (холд. 5-ки)

$\delta$ , м

## 1.9 Расчет теплотерь по укрупненным показателям

Таблица 1.6 – Расчет теплотерь по укрупненным показателям

№ помещения	$t_e, ^\circ C$	$q, \frac{Вт}{м^3 \cdot ^\circ C}$	$V, м^3$	$(t_d - t_n^s), ^\circ C$	$Q_{н.о.}, Вт$
1	2	3	4	5	6
101	20	0,387	48,50	42	788,8
102	20	0,511	53,30	42	1143,9
103	18	0,315	30,00	40	378,5
104	5	0,529	127,00	27	1815,6
106	18	0,315	30,00	40	378,5
107	20	0,511	60,00	42	1288,8
108	20	0,387	41,00	42	666,8
109	20	0,387	28,50	42	463,5
110	18	0,315	50,90	40	642,3
111	20	0,387	32,50	42	528,6
112	18	0,315	44,80	40	565,3
113	18	0,315	31,00	40	391,2
114	18	0,315	33,00	40	416,4
115	18	0,315	36,00	40	454,3
116	18	0,315	62,98	40	794,7
117	20	0,387	42,60	42	692,8
201-901	20	0,350	42,04	42	617,9
202-902	20	0,476	46,20	42	923,8
203-903	18	0,272	26,01	40	283,0
206-906	18	0,272	26,01	40	283,0
207-907	20	0,476	52,01	42	1039,9
208-908	20	0,350	35,54	42	522,3
209-909	20	0,350	24,71	42	363,1
210-910	18	0,272	44,12	40	480,1
211-911	20	0,350	28,17	42	414,1
212-912	18	0,272	38,84	40	422,6
213-913	18	0,272	26,87	40	292,4
214-914	18	0,272	28,61	40	311,3
215-915	18	0,272	31,21	40	339,6
216-916	18	0,272	54,60	40	594,1
216-917	20	0,350	36,93	42	542,7
1001	20	0,409	45,05	42	774,7
1002	20	0,542	49,50	42	1126,0
1003	18	0,344	27,86	40	383,7
1006	18	0,344	27,86	40	383,7
1007	20	0,542	55,73	42	1267,5
1008	20	0,409	38,08	42	654,9
1009	20	0,409	26,47	42	455,2
1010	18	0,344	47,28	40	651,0
1011	20	0,409	30,19	42	519,1
1012	18	0,344	41,61	40	573,0
1013	18	0,344	28,79	40	396,5
1014	18	0,344	30,65	40	422,1
1015	18	0,344	33,44	40	460,4
1016	18	0,344	58,50	40	805,5
1017	20	0,409	39,57	42	680,5
Лестн. клетка	16	0,130	429	39	2118,5

## 1.10 Расход теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха

1) Расчет располагаемого перепада давлений для всех этажей здания

$$\Delta P_i = (H - h_i)(\gamma_n - \gamma_{+5}) + 0.5 \cdot \rho_n \cdot V_n^2 \cdot (C_n - C_3) \cdot k, \quad (1.11)$$

где  $H=33.9$  м – полная высота здания;

$h_i$  – высота от поверхности земли до верха окна балконной двери на каждом из этажей;

$$\begin{array}{llll} h_1 = 3.34 \text{ м}; & h_4 = 11.74 \text{ м}; & h_7 = 20.14 \text{ м}; & h_{10} = 29.08 \text{ м}. \\ h_2 = 6.14 \text{ м}; & h_5 = 14.54 \text{ м}; & h_8 = 22.94 \text{ м}; & \\ h_3 = 8.94 \text{ м}; & h_6 = 17.34 \text{ м}; & h_9 = 26.28 \text{ м}. & \end{array}$$

$$\gamma_n = \frac{353}{273 - 22} \cdot 9.81 = 13.8$$

$$\gamma_{+5} = \frac{353}{273 + 5} \cdot 9.81 = 12.46$$

$$\rho_n = \frac{353}{273 - 22} = 1.41;$$

$$V_n = 8 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$C_n = 0.8$ ;  $C_3 = -0.6$  - аэродинамические коэффициенты на наветренной и заветренной стороне;

$$\begin{array}{llll} k_1 = 0.65; & k_4 = 0.69; & k_7 = 0.9; & k_{10} = 1.04 \\ k_2 = 0.65; & k_5 = 0.76; & k_8 = 0.94; & \\ k_3 = 0.65; & k_6 = 0.83; & k_9 = 0.99 & \end{array}$$

$$\Delta P_1 = (33.9 - 3.34) \cdot (13.85 - 12.46) + 0.5 \cdot 1.412 \cdot 8^2 \cdot (0.8 + 0.6) \cdot 0.65 = 82.07 \text{ Па}$$

$$\Delta P_2 = 78,32 \text{ Па}$$

$$\Delta P_5 = 74,02 \text{ Па}$$

$$\Delta P_8 = 74,15 \text{ Па}$$

$$\Delta P_3 = 74,56 \text{ Па}$$

$$\Delta P_6 = 74,69 \text{ Па}$$

$$\Delta P_9 = 72,84 \text{ Па}$$

$$\Delta P_4 = 73,34 \text{ Па}$$

$$\Delta P_7 = 75,37 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{10} = 72,25 \text{ Па}$$

2) Расчет расхода инфильтрующегося воздуха

$$G_u = 0.216 \frac{\sum F_i \cdot \Delta P_i^{0.67}}{R_u} \quad (1.12)$$

$$\Delta P = 0.55 \cdot H(\gamma_n - \gamma_6) + 0.03 \cdot \gamma_n \cdot V^2, \quad (1.13)$$

где  $\Delta P$  - разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций;

$$\gamma_6 = \frac{353}{273 + 20} \cdot 9.81 = 11.82 \text{ - для угловой; } \gamma_6 = \frac{353}{273 + 5} \cdot 9.81 = 12.46 \text{ - для мусоропр.};$$

$$\gamma_6 = \frac{353}{273 + 18} \cdot 9.81 = 11.9 \text{ - для средней; } \gamma_6 = \frac{353}{273 + 16} \cdot 9.81 = 11.98 \text{ - для лифта.}$$

$$\Delta P = 0.55 \cdot 33.9 \cdot (13.8 - 11.82) + 0.03 \cdot 13.8 \cdot 6.5^2 = 54.4 \text{ Па - для угловой;}$$

$\Delta P = 0.55 \cdot 33.9 \cdot (13.8 - 12.46) + 0.03 \cdot 13.8 \cdot 6.5^2 = 42.47 \text{ Па}$  - для мусоропровода;

$\Delta P = 0.55 \cdot 33.9 \cdot (13.8 - 11.9) + 0.03 \cdot 13.8 \cdot 6.5^2 = 52.92 \text{ Па}$  - для средней;

$\Delta P = 0.55 \cdot 33.9 \cdot (13.8 - 11.98) + 0.03 \cdot 13.8 \cdot 6.5^2 = 51.43 \text{ Па}$  - для лифта.

$$R_u^{mp} = \frac{1}{G^n} \left( \frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (1.14)$$

где  $\Delta p_0 = 10 \text{ Па}$  - разность давлений воздуха, при которой определяется  $R_u$ ;

$G^n = 6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$  - нормативная воздухопроницаемость;

$R_u^{mp} = \frac{1}{6} \left( \frac{54.4}{10} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.515$  - тройное остекление в раздельно спаренных переплетах с

уплотнением прокладками из пенополиуретана -  $R_u = 0.56 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$

$$G_u = 0.216 \frac{\sum F_i \cdot \Delta p_i^{0.67}}{R_u}$$

$$Q_u = 0.28 \cdot G_u \cdot C \cdot (t_e - t_n^5) \cdot k \quad (1.15)$$

$$Q_u^i = 0.28 \cdot \lambda \cdot C \cdot \rho_n (t_e - t_n^5) \cdot k, \quad (1.16)$$

где  $k = 0.7$  - коэффициент, учитывающий наличие встречного теплового потока:

$\lambda$  - воздухообмен в помещении (определяется из расчета  $3 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$  на  $1 \text{ м}^2$  жилых помещений);

$C = 1.005 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$  - теплоемкость воздуха.

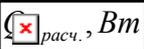
**Таблица 1.7 – Расчет расхода теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха**

№ помещ.	$t_e, \text{°C}$	$\Delta P_i, \text{Па}$	$\Delta P_i^{0.67}$	$R_u$	$F_i, \text{м}^2$	$G_{ui}, \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$	$Q_{ui}, \text{Вт}$	$F_n, \text{м}^2$	$G_n, \text{Вт}$	$Q_n, \text{Вт}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
101	20	82,07	19,16	0,56	1,88	13,89	114,95	11,67	408,40	408,40
102	20	82,07	19,16	0,56	1,88	13,89	114,95	16,43	574,98	574,98
103	18	82,07	19,16	0,56	1,45	10,72	84,43	8,99	299,63	299,63
104	5	82,07	19,16	0,56	1,45	10,72	56,99	-	-	56,99
106	20	82,07	19,16	0,56	1,88	13,89	114,95	8,95	313,21	313,21
107	20	82,07	19,16	0,56	2,9	21,43	177,31	16,43	574,98	574,98
108	20	82,07	19,16	0,56	2,4	17,74	146,74	12,47	436,39	436,39
109	18	82,07	19,16	0,56	1,45	10,72	84,43	10,02	333,96	333,96
110	20	82,07	19,16	0,56	2,9	21,43	177,31	15,22	532,63	532,63
111	18	82,07	19,16	0,56	1,88	13,89	109,47	9,14	304,63	304,63

112	18	82,07	19,16	0,56	2,4	17,74	139,75	15,22	507,2 7	507,27
113	18	82,07	19,16	0,56	1,88	13,89	109,47	9,14	304,6 3	304,63
114	18	82,07	19,16	0,56	1,88	13,89	109,47	9,14	304,6 3	304,63
115	18	82,07	19,16	0,56	1,88	13,89	109,47	12,6	419,9 5	419,95
116	18	82,07	19,16	0,56	2,7	19,95	157,22	18,3	609,9 2	609,92
117	20	82,07	19,16	0,56	2,3	17,00	140,62	12,54	438,8 4	438,84
Лестн. Клетка	16	82,07	19,16	0,56	0,5	3,70	27,66	13,25	419,5 3	419,53

1.10 Расчет тепловой мощности системы отопления

**Таблица 1.8 – Тепловая мощность системы отопления**

№ помещ.	$Q_{н.о.}, Вт$	 $расч., Вт$	$F_n, м^2$	$Q_{быт.}, Вт$	$Q_{с.о.}, Вт$
1	2	3	4	5	6
101	788,8	408,40	11,67	245,07	952,13
102	1143,9	574,98	16,43	345,03	1373,85
103	378,5	299,63	8,99	188,79	489,34
104	1815,6	56,99	-	-	1872,59
106	378,5	313,21	8,95	187,95	503,76
107	1288,8	574,98	16,43	345,03	1518,75
108	666,8	436,39	12,47	261,87	841,32
109	463,5	333,96	10,02	210,42	587,04
110	642,3	532,63	15,22	319,62	855,31
111	528,6	304,63	9,14	191,94	641,29
112	565,3	507,27	15,22	319,62	752,95
113	391,2	304,63	9,14	191,94	503,89
114	416,4	304,63	9,14	191,94	529,09
115	454,3	419,95	12,6	264,6	609,65
116	794,7	609,92	18,3	384,3	1020,32
117	692,8	438,84	12,54	263,34	868,3
201-901	617,9	408,40	11,67	245,07	781,23
202-902	923,8	574,98	16,43	345,03	1153,75
203-903	283,0	299,63	8,99	188,79	393,84
204-904	1815,6	56,99	-	-	1872,59
206-906	283,0	313,21	8,95	187,95	408,26
207-907	1039,9	574,98	16,43	345,03	1269,85
208-908	522,3	436,39	12,47	261,87	696,82
209-909	363,1	333,96	10,02	210,42	486,64
210-910	480,1	532,63	15,22	319,62	693,11
211-911	414,1	304,63	9,14	191,94	526,79
212-912	422,6	507,27	15,22	319,62	610,25
213-913	292,4	304,63	9,14	191,94	405,09
214-914	311,3	304,63	9,14	191,94	423,99
215-915	339,6	419,95	12,6	264,6	494,95
216-916	594,1	609,92	18,3	384,3	819,72
216-917	542,7	438,84	12,54	263,34	718,2
1001	774,7	408,40	11,67	245,07	938,03
1002	1126,0	574,98	16,43	345,03	1355,95

1003	383,7	299,63	8,99	188,79	494,54
1004	1815,6	56,99	-	-	1872,59
1006	383,7	313,21	8,95	187,95	508,96
1007	1267,5	574,98	16,43	345,03	1497,45
1008	654,9	436,39	12,47	261,87	829,42
1009	455,2	333,96	10,02	210,42	578,74
1010	651,0	532,63	15,22	319,62	864,01
1011	519,1	304,63	9,14	191,94	631,79
1012	573,0	507,27	15,22	319,62	760,65
1013	396,5	304,63	9,14	191,94	509,19
1014	422,1	304,63	9,14	191,94	534,79
1015	460,4	419,95	12,6	264,6	615,75
1016	805,5	609,92	18,3	384,3	1031,12
1017	680,5	438,84	12,54	263,34	856

## 2 Расчет теплового режима помещения

### 2.1 Определение амплитуды колебания температуры помещения при периодическом отоплении

Расчет выполняем для помещения 101.

$T = 12$  ч;  $m = 5$ ;  $n = 3$  ч.

$$Q_{c.o.}^{+5} = Q_{c.o.} \cdot \frac{t_g - 5}{t_g - t_n^5} = 952.13 \cdot \frac{20 - 5}{20 + 22} = 340 \text{ Вт}$$

$$A_{t_g} = \frac{a \cdot A_Q}{\frac{1}{\frac{1}{V_{ном}} + \frac{1}{\Lambda}} + \lambda c \rho}, \quad (2.1)$$

где  $V_{ном} = \sum V_i \cdot F_i$  (2.2)

$$A_Q = Q_{c.o.}^{+5}$$

$$F_i = 11.67 \cdot 2 + 2.58 \cdot 3.6 \cdot 2 + 2.58 \cdot 3.1 \cdot 2 = 57.91 \text{ м}^2$$

$$\Lambda = \bar{\alpha}_k \cdot F_i = 4.1 \cdot 57.91 = 237.4 \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}}$$

$$S_{12} = S_{24} \sqrt{\frac{24}{m+n}} = S_{24} \sqrt{\frac{24}{5+3}} = S_{24} \sqrt{3}$$

а) наружная стена

$$D_1 = R_1 \cdot S_1 = \frac{0.02}{0.7} \cdot 9.6\sqrt{3} = 0.5 < 1$$

$$D_2 = R_2 \cdot S_2 = \frac{0.2}{0.58} \cdot 8.43\sqrt{3} = 5.03$$

$$D_1 + D_2 > 1 \Rightarrow I_{н.с.} = \frac{R_1 \cdot S_1^2 + S_2}{1 + R_1 \cdot S_1} = \frac{0.02 \cdot (9.6\sqrt{3})^2 + 8.43\sqrt{3}}{1 + \frac{0.02}{0.7} \cdot 9.6\sqrt{3}} = 15.25 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

б) внутренняя перегородка

$$D_{пер} = R_1 \cdot S_1 = \frac{0.2}{1.92} \cdot 17.98\sqrt{3} = 3.24$$

$$\frac{1}{2} D_{пер} = 1.62 > 1 \Rightarrow I_{пер.} = S_{пер} = 17.98\sqrt{3} = 31.00 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

в) полы

1. Покрекрытие над подвалом

$$D_1 = R_1 \cdot S_1 = \frac{0.018}{0.18} \cdot 5\sqrt{3} = 0.87 > 0.5 \Rightarrow I_{пол.} = 2 \cdot S_1 = 2 \cdot 5\sqrt{3} = 17.3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

## 2. Междуэтажное перекрытие

$$D_1 = R_1 \cdot S_1 = \frac{0.22}{1.92} \cdot 17.98\sqrt{3} = 3.56 > 0.5 \Rightarrow I_{\text{пол}} = S_1 = 17.98\sqrt{3} = 31.1 \frac{\text{Bm}}{\text{M}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

г) окна

$$I_{\text{ок}} = \frac{\alpha_n}{1 + R_1 \cdot \alpha_n} = \frac{23}{1 + \frac{0.08}{0.76} \cdot 23} = 6.72 \frac{\text{Bm}}{\text{M}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$I_{\text{ном}} = (3.1 \cdot 2.58 - 1.3 \cdot 1.45) \cdot 15.25 + 3.6 \cdot 2.58 \cdot 15.25 + 11.67 \cdot 17.3 + 11.67 \cdot 31.1 + 3.6 \cdot 2.58 \cdot 31 + 2.58 \cdot 3.1 \cdot 31 = 1335.5 \frac{\text{Bm}}{^\circ\text{C}}$$

$$A_{t_e} = \frac{0.9 \cdot 340}{\frac{1}{\frac{1}{1335.5} + \frac{1}{273.4}} + 3 \cdot 11.67 \cdot 1.2} = 1.13^\circ\text{C}$$

Т.к. полученное значение  $A_{t_e} < A_{t_e}^{\text{дон}} = \pm 1.5^\circ\text{C}$ , то система отопления при периодической работе обеспечивает требуемый тепловой режим в помещении.

## 2.2 Расчет температуры нагретой поверхности

Расчет производим для помещения 101.

$$Q_{ном} = 952.13 \text{ Вт}$$

$$F_n = 11.67 \text{ м}^2$$

$$\tau_n = 30^\circ \text{С}$$

$$F_{н.о.} = 3.1 \cdot 2.58 - 1.3 \cdot 1.4 + 2.58 \cdot 3.6 = 15.46 \text{ м}^2$$

$$\alpha_k = 1.16 \cdot \sqrt[3]{\tau_n - t_g} = 1.16 \cdot \sqrt[3]{30 - 20} = 2.5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{С}} - \text{коэффициент конвективного}$$

теплообмена;

$$\alpha_l = 4.9 \cdot b \cdot \Phi - \text{коэффициент лучистого теплообмена,}$$

где  $b = 0.81 + 0.005(\tau_n - \tau_g)$  - температурный коэффициент;

$$\tau_g = \frac{F_{н.с.} \tau_{н.с.} + F_{ок} \tau_{ок}}{F_{н.с.} + F_{ок}} - \text{осредненная температура внутренней поверхности}$$

наружных ограждений;

$$\tau_{ок} = t_g - \frac{1}{R_o} \Delta t = 20 - \frac{1}{0.39} (20 + 22) = 7.62^\circ \text{С} - \text{температура внутренней}$$

поверхности окна;

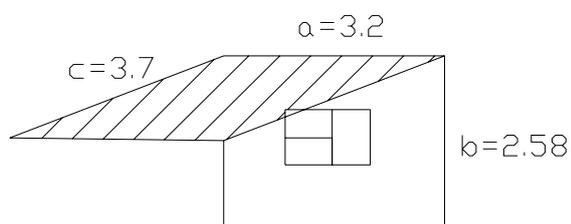
$$F_{н.с.} = 3.1 \cdot 2.58 + 3.6 \cdot 2.58 = 17.29 \text{ м}^2$$

$$\tau_g = \frac{F_{н.с.} \tau_{н.с.} + F_{ок} \tau_{ок}}{F_{н.с.} + F_{ок}} = \frac{17.29 \cdot 20 + 1.88 \cdot 7.62}{17.29 + 1.88} = 18.78^\circ \text{С}$$

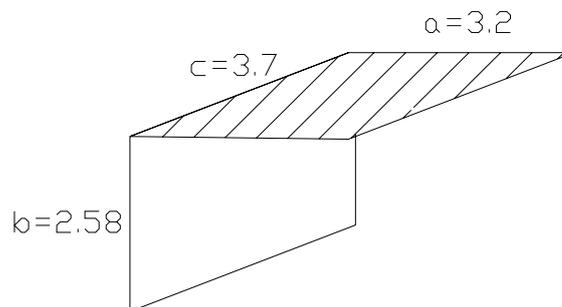
$$b = 0.81 + 0.005(30 - 18.78) = 0.866$$

$$\Phi = \frac{\frac{F_{н.о.}}{F_n} - \varphi_{н-н.о.}^2}{\frac{F_{н.о.}}{F_n} - 2 \cdot \varphi_{н-н.о.} + 1} - \text{коэффициент полной облученности с панели на}$$

поверхности наружных ограждений;



$$\varphi_{1-2} = 0.166$$



$$\varphi_{1-3} = 0.186$$

$$\varphi = 0.352$$

## Рисунок 2.1 – Определение коэффициента облученности с панели на поверхность наружного ограждения

$$\Phi = \frac{\frac{F}{F} - \varphi_{n-n.o.}^2}{\frac{F}{F} - 2 \cdot \varphi_{n-n.o.} + 1} = \frac{\frac{17.29}{11.67} - 0.352^2}{\frac{17.29}{11.67} - 2 \cdot 0.352 + 1} = 0.76$$

$$\alpha_n = 4.9 \cdot b \cdot \Phi = 4.9 \cdot 0.866 \cdot 0.76 = 3.24 \frac{Bm}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$\tau_n = \frac{\frac{Q_{ном}}{F_n} + \alpha_k \cdot t_g + \alpha_n \cdot \tau_g}{\alpha_k + \alpha_n} = \frac{\frac{952.13}{11.67} + 2.5 \cdot 20 + 3.24 \cdot 18.78}{2.5 + 3.24} = 33.5^\circ C$$

Полученное значение температуры нагретой поверхности отличается от заданного более чем на 2 градуса, следовательно повторим расчет:

$$\alpha_k = 1.16 \cdot \sqrt[3]{\tau_n - t_g} = 1.16 \cdot \sqrt[3]{33.5 - 20} = 2.76 \frac{Bm}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

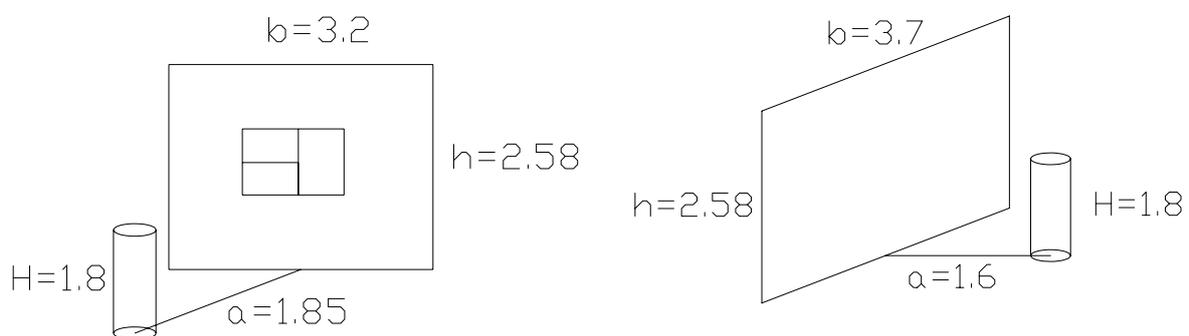
$$b = 0.81 + 0.005(33.5 - 18.78) = 0.88$$

$$\alpha_n = 4.9 \cdot b \cdot \Phi = 4.9 \cdot 0.88 \cdot 0.76 = 3.29 \frac{Bm}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$\tau_n = \frac{\frac{Q_{ном}}{F_n} + \alpha_k \cdot t_g + \alpha_n \cdot \tau_g}{\alpha_k + \alpha_n} = \frac{\frac{952.13}{11.67} + 2.76 \cdot 20 + 3.29 \cdot 18.78}{2.76 + 3.29} = 32.8^\circ C$$

### 2.3 Проверка соответствия температурных условий в помещении первому условию комфортности

$t_R = \varphi_{ч-но} \cdot \tau_g + \varphi_{ч-н} \cdot \tau_n + \varphi_{ч-го} \cdot \tau_{го}$  - радиационная температура помещения;

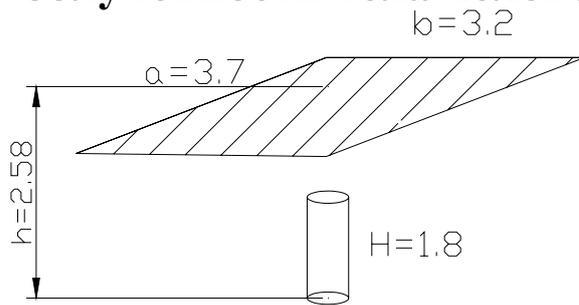


$$\varphi_{ч-но} = \frac{8 \cdot 2}{100} = 0.16$$

$$\varphi_{ч-но} = \frac{7.5 \cdot 2}{100} = 0.15$$

$$\varphi_{ч-но} = 0.31$$

## Рисунок 2.2 – Определение коэффициента облученности тела человека на наружные ограждения



$$\varphi_{ч-н} = \frac{7.2}{4 \cdot 100} = 0.018$$

## Рисунок 2.3 - Определение коэффициента облучённости с поверхности тела человека на нагретую поверхность

$$\varphi_{ч-вс} = 1 - (\varphi_{ч-но} + \varphi_{ч-н}) = 1 - (0.31 + 0.018) = 0.67$$

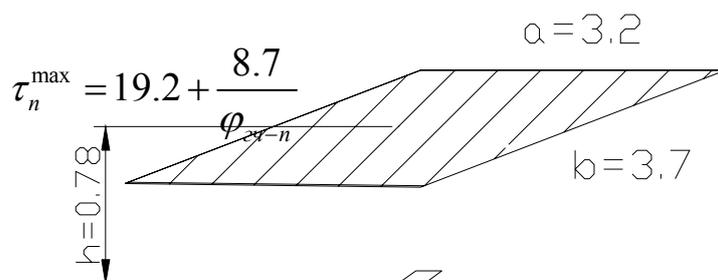
$$t_R = \varphi_{ч-но} \cdot \tau_г + \varphi_{ч-н} \cdot \tau_n + \varphi_{ч-вс} \cdot \tau_{вс} = 0.31 \cdot 18.78 + 0.018 \cdot 32.8 + 0.67 \cdot 20 = 19.81^\circ\text{C}$$

$$t_R = 29 - 0.57 \cdot t_г \pm 1.5 = 29 - 0.57 \cdot 20 \pm 1.5 = 17.6 \pm 1.5$$

$$16.1 \leq t_R \leq 19.1$$

Т.к. полученное значение температуры не попадает в интервал первого условия комфортности, то такой режим отопления применять нельзя.

## 2.4 Проверка выполнения второго условия комфортности



$$\tau_n^{\max} = 19.2 + \frac{8.7}{\varphi_{ст-н}}$$

$$\varphi_{ст-н} = 0.25 \cdot 4 = 1$$

## **Рисунок 2.4 - Определение коэффициента облученности с элементарной площадки на голове человека на нагретую поверхность**

$$\tau_n^{\max} = 19.2 + \frac{8.7}{1} = 27.9^{\circ}\text{C}$$

$$\tau_n < \tau_n^{\max} \quad (32.2 > 27.9) \text{ – следовательно второе условие}$$

комфортности не выполняется, величину  $\tau_n$  следует уменьшить за счет увеличения поверхности нагрева.

### **Заключение**

В данной курсовой работе был произведен расчет жилого девятиэтажного здания. Были рассчитаны: наружные ограждения, температура в характерных сечениях ограждения, выполнена проверка наружного угла на возможность конденсации водяного пара на его внутренней поверхности, произведен анализ влажностного режима ограждения, рассчитаны приведенное сопротивление теплопередаче, нестационарного температурного поля методом конечных разностей, теплотери помещения, теплотери по укрупненным показателям, расход теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха, тепловая мощности системы отопления, тепловой режим помещения, амплитуда колебания температуры помещения при периодическом отоплении, температура нагретой поверхности, а также проверены на соответствие температурные условия комфортности.

## Список используемой литературы

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1981. – 415 с.
2. СНИП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. – М.: Стройиздат, 1983. – 136 с.
3. СНИП II-3-79\*\*. Строительная теплотехника. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 32 с.
4. СНИП 2.04.05-86. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 59 с.

