

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Институт «Архитектурно-строительный»  
Кафедра «Градостроительство, инженерные сети и системы»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой,  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ Д.В. Ульрих  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

Воздушное отопление и вентиляция механического цеха в  
г. Нязепетровск

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ – 08.03.01.2021.305.21. ПЗ ВКР

Консультанты:

Раздел «Автоматизация»\*  
доцент, к.т.н.  
\_\_\_\_\_ С.В. Панферов  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

Руководитель проекта:  
доцент, к.т.н.  
\_\_\_\_\_ А.Н. Нагорная  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

Автор проекта:  
студент группы АС-422  
\_\_\_\_\_ Е.С. Макарова  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

Нормоконтролер:  
доцент, к.т.н.  
\_\_\_\_\_ А.Н. Нагорная  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

Челябинск 2021

## АННОТАЦИЯ

Макарова Е.С. Воздушное отопление и вентиляция механического цеха в г. Нязепетровск – Челябинск: ЮУрГУ, АС; 2021, 92 с., 11 ил., библиогр. список – 15 наим., 4 прил., 6 листов чертежей ф. А1

В выпускной квалификационной работе разработана система воздушного отопления, совмещенного с вентиляцией механического цеха в г. Нязепетровск.

Проект разработан с учетом требований СП, ГОСТ, противопожарных норм, предъявляемых к промышленным зданиям и системам отопления и вентиляции.

В проекте были выполнены следующие расчеты: определение тепловых потерь здания, определение тепловыделений и вредностей механического цеха, расчет требуемого воздухообмена и аэродинамический расчет приточной системы. Было подобрано отопительно-вентиляционное оборудование.

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Воздушное отопление и вентиляция механического цеха в г. Нязепетровск	Стадия	Лист	Листов
Зав. каф.	Ульрих Д.В.						3	
Н.контр.	Нагорная А.Н.							
Руководит.	Нагорная А.Н.							
Консульт.	Панферов С.В.							
Дипломник	Макарова Е.С.					ЮУрГУ Кафедра ГИСиС		

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	5
1.1 Характеристика объекта.....	5
1.2 Расчетные метеорологические параметры наружного воздуха.....	5
1.3 Расчетные метеорологические параметры внутреннего воздуха.....	6
1.4 Характеристика наружных ограждающих конструкций.....	6
2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ....	7
2.1 Определение тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции .....	8
2.1.1 Тепловые потери через стены.....	8
2.1.2. Тепловые потери через окна.....	9
2.1.3 Тепловые потери через покрытие.....	9
2.1.4 Тепловые потери через пол.....	9
2.1.5 Тепловые потери через двери.....	10
2.2 Тепловые потери на нагрев инфильтрационного воздуха.....	10
3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЙ И ВЫДЕЛЯЮЩИХСЯ ВРЕДНОСТЕЙ МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА.....	12
3.1 Теплопоступления от людей.....	12
3.2 Теплопоступления от искусственного освещения.....	13
3.3 Вредности от оборудования.....	13
3.4 Теплопоступления от солнечной радиации.....	20
4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО ВОЗДУХООБМЕНА.....	31
4.1 Требуемый воздухообмен для холодного периода.....	31
4.2 Требуемый воздухообмен для теплого периода.....	35
5 ПРИНЯТАЯ СИСТЕМА ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ.....	37
6 ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ.....	38
7 АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ.....	41
8 АВТОМАТИЗАЦИЯ.....	44
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	47
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	48
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	49
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	50
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	51

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

## ВВЕДЕНИЕ

Промышленность является важной отраслью развития в нашей стране.

В настоящее время к промышленным зданиям предъявляются высокие требования по обеспечению безопасных и комфортных условий труда. Основной задачей проектирования системы вентиляции и отопления промышленного здания является достижение необходимых параметров микроклимата в помещении, таких как температура воздуха, его скорость движения и влажность, а также температура поверхностей технологического оборудования и ограждающих конструкций. Кроме того, системы должны затрачивать минимальное количество тепловой и электрической энергии.

Оборудование, применяемое для проектируемых систем, должно быть надежным, безопасным и простым в эксплуатации.

Выполнение данного требования обеспечивается применением современного оборудования, правильным расчетом и выбором размеров вентиляционных каналов.

Соблюдение всех необходимых условий способствует повышению производительности труда, эффективности производства и работы оборудования.

Цель дипломного проекта – разработка системы отопления и вентиляции механического цеха Литейно-механического завода в городе Нязепетровске.

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

# **1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

## **1.1 Характеристика объекта**

Объектом проектирования является система отопления и вентиляции механического цеха Литейно-механического завода в городе Нязепетровске. Завод производит широкую линейку крановой техники, так же является единственным в России производителем быстромонтируемых кранов.

Здание выполнено из сэндвич панелей на минеральном утеплителе.

Механический цех состоит из трёх зон: механического, сварочного отделения и отделения покраски.

Ориентация главного фасада – СЗ. Высота здания с учетом светоаэрационных фонарей составляет 15 м.

В сборочном цехе располагается следующее оборудование: горизонтально расточной станок, агрегатный станок для расточки и подрезки флюгеров, обрабатывающий центр, два радиально-сверлильных станка. В механическом цехе расположены токарно-карусельный, радиально-сверлильный станки, а также машина листогибочная волковая четыре вертикально-сверильных и два горизонтально-сверильных станка. В сварочном отделении – радиально-сверлильный, пилоотрезной и вертикально-сверильный станки. В зоне покраски располагается специальный станок для торцевых труб.

## **1.2 Расчетные метеорологические параметры наружного воздуха**

К расчетным параметрам наружного воздуха относятся температура, энтальпия и скорость ветра. Параметры наружного воздуха непрерывно меняются и зависят от района строительства и сезона года. Для холодного периода назначаются параметры Б, для теплого – параметры А, которые определяются по [1].

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Таблица 1.1 - Расчетные параметры А наружного воздуха

Период года	Барометрическое давление, гПа	Параметры А		
		Температура воздуха	Удельная энтальпия, кДЖ/кг	Скорость ветра, м/с
Теплый	978	23	45(43,6 -48,4)	1
Холодный	978	-21	- 33(76%)	3,4

Таблица 1.2 - Расчетные параметры Б наружного воздуха

Период года	Барометрическое давление, гПа	Параметры Б		
		Температура воздуха	Удельная энтальпия, кДЖ/кг	Скорость ветра
Теплый	978	26	50(48,4 -52,6)	1
Холодный	978	-34	- 34(76%)	3,4

### 1.3 Расчетные метеорологические параметры внутреннего воздуха

Климатические параметры внутреннего воздуха рабочей зоны для производственных зданий определяются по [табл.1, 9]. Категория работ - Пб.

Таблица 1.3 – Расчетные параметры внутреннего воздуха

Период года	Параметр		
	Температура внутреннего воздуха $t_{в}$ , °С	Относительная влажность воздуха $\varphi$ , %	Скорость движения воздуха, м/с
Теплый	27	40-60	0,2...0,5
Холодный	15-21	$\leq 75$	$\leq 4$

#### 1.4 Характеристика наружных ограждающих конструкций

Таблица 1.4 Характеристики наружных ограждающих конструкций

	$k$ ,	$R_0$ ,	$\delta$ ,	Примечание
	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}$	$\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$	м	
Наружная стена	0,3	2,9	0,4	
Бесчердачное покрытие	0,2	3,8	0,4	
Окно	1,9	0,5	0,0	Тройное со стеклом
Дверь	0,5	1,7	0,0	
Светоаэрационный фонарь	2,9	0,3	0,1	

## 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

### 2.1 Определение тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции

Тепловые потери через наружные ограждающие конструкции рассчитываются по формуле:

$$Q = A \cdot k \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n \cdot (1 + \sum \beta), \quad (1)$$

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

$k$  – коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ ;

$t_{\text{в}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха,  $\text{°C}$ ;

$t_{\text{н}}$  – расчетная температура наружного воздуха,  $\text{°C}$ ;

$n$  – коэффициент, учитывающий фактическое понижение расчётной разности температур, которое отделяет отапливаемое помещение от неотапливаемого;

$\beta$  – коэффициент, учитывающий дополнительные потери через ограждение.

#### 2.1.1 Тепловые потери через стены

Так как высота здания больше 4 м, на высоте до 4 м от пола следует принимать температуру в рабочей зоне, на высоте более 4 м — среднюю температуру между температурами воздуха в рабочей и верхней зонах помещения.

Температура в верхней зоне определяется по формуле:

$$t_{\text{верх}} = t_{\text{в}} + k (H - 2), \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент нарастания температуры по высоте,  $\text{°C/м}$ ;

$H$  – высота здания, м.

$$t_{\text{верх}} = 15 + 0,5 (12,6 - 2) = 20,3 \text{ °C}.$$

Средняя температура между температурами воздуха в рабочей и верхней зонах помещения определяется по формуле:

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{верх}} + t_{\text{в.рз}}}{2} \quad (3)$$
$$t_{\text{ср}} = \frac{20,3 + 15}{2} = 17,7 \text{ °C}$$

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		



Стены здания ориентированы на северо-запад, северо-восток, юго-запад и юго-восток. Добавочные теплопотери составляют 10% для ограждающих конструкций, ориентированных на северо-восток и северо-запад, 5% для ограждающих конструкций, ориентированных на юго-восток.

Площадь стены определяется как:

$$A_{\text{ст}} = A'_{\text{ст}} - A_{\text{ост}} - A_{\text{дв}}, \quad (4)$$

где  $A'_{\text{ст}}$  - площадь стены с учетом остекления, м<sup>2</sup>;

$A_{\text{ост}}$  - площадь остекления, м<sup>2</sup>;

$A_{\text{дв}}$  - площадь дверных проемов, м<sup>2</sup>.

Площадь стен до высоты 4 м:

$$A_{\text{ст}}^{\text{сз}} = 156 \cdot 4 - 471 - 6,3 = 146,7 \text{ м}^2,$$

$$A_{\text{ст}}^{\text{юв}} = 156 \cdot 4 - 323,4 - 6,3 = 323,4 \text{ м}^2,$$

$$A_{\text{ст}}^{\text{юз}} = 72 \cdot 4 - 187,2 - 44,7 = 56,1 \text{ м}^2,$$

$$A_{\text{ст}}^{\text{св}} = 72 \cdot 4 - 12,6 = 275,4 \text{ м}^2$$

Площадь стен выше 4 м:

$$A_{\text{ст}}^{\text{сз}} = 156 \cdot 8,6 - 771 = 570,6 \text{ м}^2,$$

$$A_{\text{ст}}^{\text{юв}} = 156 \cdot 8,6 - 785,4 = 556,2 \text{ м}^2,$$

$$A_{\text{ст}}^{\text{юз}} = 72 \cdot 8,6 - 187,2 = 432 \text{ м}^2,$$

$$A_{\text{ст}}^{\text{св}} = 72 \cdot 8,6 = 619,2 \text{ м}^2$$

Тепловые потери через стены по высоте до 4 м:

$$Q_{\text{сз}} = 146,7 \cdot 0,34 \cdot (15 - (-34)) \cdot 1 \cdot (1 + 0,1) = 2688 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{юв}} = 323,4 \cdot 0,34 \cdot (15 - (-34)) \cdot 1 \cdot (1 + 0,05) = 5657 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{юз}} = 56,1 \cdot 0,34 \cdot (15 - (-34)) \cdot 1 = 935 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{св}} = 275,4 \cdot 0,34 \cdot (15 - (-34)) \cdot 1 \cdot (1 + 0,1) = 5046 \text{ Вт}.$$

Тепловые потери через стены по высоте после 4 м:

$$Q_{\text{сз}} = 570,6 \cdot 0,34 \cdot (17,7 - (-34)) \cdot 1 \cdot (1 + 0,1) = 11033 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{юв}} = 556,2 \cdot 0,34 \cdot (17,7 - (-34)) \cdot 1 \cdot (1 + 0,05) = 10266 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{юз}} = 432 \cdot 0,34 \cdot (17,7 - (-34)) \cdot 1 = 7594 \text{ Вт},$$

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$Q_{\text{св}} = 619,2 \cdot 0,34 \cdot (17,7 - (-34)) \cdot 1 \cdot (1 + 0,1) = 11973 \text{ Вт.}$$

Суммарные теплотери через стены составляют:

$$Q_{\text{сумм}}^{\text{ст}} = 2688 + 5657 + 935 + 5046 + 11033 + 10266 + 7594 + 11937 = \\ = 55156 \text{ Вт}$$

### 2.1.2 Тепловые потери через окна

Коэффициент теплопередачи через окна рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{ок}} = \frac{1}{R_0^{\text{ок}}}, \quad (5)$$

где  $R_0^{\text{ок}}$  – расчетное сопротивление теплопередачи окон,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ .

$$k_{\text{ок}}^{\text{расч}} = k_{\text{ок}} - k_{\text{нс}} \quad (6)$$

$$k_{\text{ок}} = \frac{1}{0,52} = 1,92 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}},$$

$$k_{\text{ок}}^{\text{расч}} = 1,92 - 0,34 = 1,58 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}.$$

Тепловые потери через окна по высоте до 4 м:

$$Q_{\text{сз}} = 471 \cdot 1,58 \cdot (15 - (-34)) \cdot 1 \cdot (1 + 0,1) = 40111 \text{ Вт,}$$

$$Q_{\text{юв}} = 323,4 \cdot 1,58 \cdot (15 - (-34)) \cdot 1 \cdot (1 + 0,05) = 26290 \text{ Вт,}$$

$$Q_{\text{юз}} = 187,2 \cdot 1,58 \cdot (15 - (-34)) \cdot 1 = 14493 \text{ Вт.}$$

Тепловые потери через стены по высоте после 4 м:

$$Q_{\text{сз}} = 771 \cdot 1,58 \cdot (17,7 - (-34)) \cdot 1 \cdot (1 + 0,1) = 69278 \text{ Вт,}$$

$$Q_{\text{юв}} = 785,4 \cdot 1,58 \cdot (17,7 - (-34)) \cdot 1 \cdot (1 + 0,05) = 67364 \text{ Вт,}$$

$$Q_{\text{юз}} = 187,2 \cdot 1,58 \cdot (17,7 - (-34)) \cdot 1 = 15292 \text{ Вт.}$$

Суммарные теплотери через окна составляют:

$$Q_{\text{сумм}}^{\text{ок}} = 40111 + 26290 + 14493 + 69278 + 67364 + 15292 = 232828 \text{ Вт}$$

### 2.1.3 Тепловые потери через покрытие

Площадь покрытия 11232 м<sup>2</sup>, значит:

$$Q_{\text{покр}} = 11232 \cdot 0,26 \cdot (15 - (-34)) \cdot 1 = 143096 \text{ Вт}$$

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

## 2.1.4 Тепловые потери через пол

Для расчета тепловых потерь через пол, он разделяется на зоны. Первые три зоны – это полосы шириной 2 м вдоль наружных стен. Четвертая зона – вся оставшаяся площадь.

Площадь пола каждой зоны:

$$A_{\text{пл}}^{1з} = 156 \cdot 2 \cdot 2 + (72 - 4) \cdot 2 \cdot 2 = 896 \text{ м}^2,$$

$$A_{\text{пл}}^{2з} = 152 \cdot 2 \cdot 2 + (68 - 4) \cdot 2 \cdot 2 = 864 \text{ м}^2,$$

$$A_{\text{пл}}^{3з} = 148 \cdot 2 \cdot 2 + (64 - 4) \cdot 2 \cdot 2 = 832 \text{ м}^2,$$

$$A_{\text{пл}}^{4з} = 156 \cdot 72 - 896 - 864 - 832 = 8640 \text{ м}^2.$$

Сопротивление теплопередаче для каждой из зон равны 1,1, 2,3, 4,6, 8,2  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$

соответственно.

$$k_{\text{пола}}^{1з} = \frac{1}{1,1} = 0,9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}},$$

$$k_{\text{пола}}^{2з} = \frac{1}{2,3} = 0,43 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}},$$

$$k_{\text{пола}}^{3з} = \frac{1}{4,6} = 0,22 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}},$$

$$k_{\text{пола}}^{4з} = \frac{1}{8,2} = 0,12 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}.$$

Тепловые потери для каждой из зон :

$$Q_{\text{пл}}^{1з} = 896 \cdot 0,9 \cdot (15 - (-34)) \cdot 1 = 39514 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{пл}}^{2з} = 864 \cdot 0,43 \cdot (15 - (-34)) \cdot 1 = 18204 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{пл}}^{3з} = 832 \cdot 0,22 \cdot (15 - (-34)) \cdot 1 = 8969 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{пл}}^{4з} = 8640 \cdot 0,12 \cdot (15 - (-34)) \cdot 1 = 50803 \text{ Вт}.$$

Суммарные тепловые потери через пол составляют:

$$Q_{\text{сумм}}^{\text{пол}} = 39514 + 18204 + 8969 + 50803 = 117490 \text{ Вт}$$

## 2.1.5 Тепловые потери через светоаэрационные фонари

Площадь остекления фонарей:

$$A_{\text{ф}}^{\text{сз}} = A_{\text{ф}}^{\text{юв}} = 360 \cdot 3 = 1080 \text{ м}^2,$$

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$A_{\phi}^{\text{ЮЗ}} = A_{\phi}^{\text{СВ}} = 86,4 \text{ м}^2,$$

Тепловые потери через светоаэрационные фонари:

$$Q_{\phi}^{\text{СЗ}} = 1080 \cdot 1,58 \cdot (17,7 - (-34)) \cdot 1 \cdot (1 + 0,1) = 97043 \text{ Вт},$$

$$Q_{\phi}^{\text{ЮВ}} = 1080 \cdot 1,58 \cdot (17,7 - (-34)) \cdot 1 \cdot (1 + 0,05) = 92632 \text{ Вт},$$

$$Q_{\phi}^{\text{ЮЗ}} = 86,4 \cdot 1,58 \cdot (17,7 - (-34)) \cdot 1 = 7058 \text{ Вт},$$

$$Q_{\phi}^{\text{СВ}} = 86,4 \cdot 1,58 \cdot (17,7 - (-34)) \cdot 1 \cdot (1 + 0,1) = 7763 \text{ Вт}.$$

Суммарные тепловые потери через светоаэрационные фонари составляют:

$$Q_{\text{сумм}}^{\phi} = 97043 + 92632 + 7058 + 7763 = 204496 \text{ Вт}$$

### 2.1.6 Тепловые потери через двери

Коэффициент теплопередачи определяется по формуле:

$$k_{\text{дв}}^{\text{расч}} = k_{\text{дв}} - k_{\text{нс}} \quad (7)$$

$$k_{\text{дв}}^{\text{расч}} = 0,57 - 0,34 = 0,23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}},$$

Двери двойные без тамбура, значит добавочные тепловые потери на врывание наружного воздуха определяются по формуле:

$$\beta_{\text{дв}} = 0,34 \cdot H \quad (8)$$

$$\beta_{\text{дв}} = 0,34 \cdot 12,6 = 4,28$$

Тепловые потери через дверные проемы:

$$Q_{\text{дв}}^{\text{СЗ}} = 6,3 \cdot 0,23 \cdot (15 - (-34)) \cdot 1 \cdot (1 + 0,1 + 4,28) = 382 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{дв}}^{\text{ЮВ}} = 6,3 \cdot 0,23 \cdot (15 - (-34)) \cdot 1 \cdot (1 + 0,05 + 4,28) = 378 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{дв}}^{\text{ЮЗ}} = 44,7 \cdot 0,23 \cdot (15 - (-34)) \cdot (1 + 4,28) = 2660 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{дв}}^{\text{СВ}} = 12,6 \cdot 0,23 \cdot (15 - (-34)) \cdot 1 \cdot (1 + 0,1 + 4,28) = 764 \text{ Вт}.$$

Суммарные тепловые потери через двери составляют:

$$Q_{\text{сумм}}^{\text{дв}} = 382 + 378 + 2660 + 764 = 4184 \text{ Вт}$$

Суммарные тепловые потери через наружные ограждающие конструкции для всего здания определяются по формуле:

$$Q_{\text{нок}} = Q_{\text{сумм}}^{\text{ст}} + Q_{\text{сумм}}^{\text{ок}} + Q_{\text{сумм}}^{\text{пол}} + Q_{\text{сумм}}^{\text{пок}} + Q_{\text{сумм}}^{\phi} + Q_{\text{сумм}}^{\text{дв}} \quad (9)$$

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$Q_{\text{нок}} = 55156 + 232828 + 117490 + 143096 + 204496 + 4184 = 757250 \text{ Вт.}$$

## 2.2 Тепловые потери на нагрев инфильтрационного воздуха

Добавочные потери теплоты на нагрев наружного воздуха, поступающего в производственное здание путём инфильтрации, в соответствии с [11] при отсутствии данных допускается принимать равным 30% от основных потерь теплоты.

$$Q_{\text{инф}} = 0,3 \cdot Q_{\text{нок}}, \quad (10)$$

где  $Q_{\text{нок}}$  – теплотери через наружные ограждающие конструкции для всего здания, Вт.

$$Q_{\text{инф}} = 0,3 \cdot 757250 = 227175 \text{ Вт.}$$

Тепловые потери для всего здания определяются как сумма тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции и тепловых потерь на нагрев инфильтрационного воздуха:

$$Q_{\text{зд}} = Q_{\text{нок}} + Q_{\text{инф}}, \quad (11)$$

где  $Q_{\text{инф}}$  - тепловые потери на нагрев инфильтрационного воздуха, Вт.

$$Q_{\text{зд}} = 757250 + 227175 = 984425 \text{ Вт}$$

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

## 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ И ВЫДЕЛЯЮЩИХСЯ ВРЕДНОСТЕЙ МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА

На данном предприятии производится индивидуальное производство – выпуск единичных экземпляров различных машин и агрегатов. Детали на заводе изготавливают рабочие высокой квалификации, используя универсальное оборудование.

Источниками тепловыделений являются люди, находящиеся в помещении, электродвигатели станков, светильники искусственного освещения и солнечная радиация.

### 2.1 Теплопоступления от людей

Теплопоступления от людей зависят от деятельности, температуры окружающего воздуха. В теплый период температура внутреннего воздуха в цехе составляет 20 °С, в холодный - 18°С.

Теплопоступления от людей определяются по формулам:

$$Q_{\text{я}} = q_{\text{я}} \cdot N, \quad (12)$$

$$Q_{\text{п}} = q_{\text{п}} \cdot N, \quad (13)$$

$$M_{\text{w}} = m_{\text{w}} \cdot N, \quad (14)$$

$$M_{\text{CO}_2} = m_{\text{CO}_2} \cdot N, \quad (15)$$

где  $Q_{\text{я}}$  и  $Q_{\text{п}}$  – общие теплопоступления явного и полного тепла от людей, Вт;

$q_{\text{я}}$  и  $q_{\text{п}}$  – удельные выделения явного и полного тепла, Вт/чел;

$N$  – количество человек в помещении, чел;

$M_{\text{w}}$  – общие теплопоступления влаги от людей;

$m_{\text{w}}$  – удельные выделения влаги одним человеком, г/(ч·чел);

$M_{\text{CO}_2}$  – общие теплопоступления углекислого газа от людей;

$m_{\text{CO}_2}$  – удельные выделения  $\text{CO}_2$  одним человеком, л/(ч·чел), принимается по [12].

Значения величин  $q_{\text{я}}$ ,  $q_{\text{п}}$  и  $m_{\text{w}}$  принимаются по [прил.20,4].

Механический цех рассчитан на 34 рабочих места. Принимаем, что все рабочие – мужчины, значит выделение влаги максимальное и составляет 100%.

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

В холодный период при температуре внутреннего воздуха 15 °С вредности от людей составят:

$$Q_{\text{я}} = 135 \cdot 34 = 4590 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{п}} = 210 \cdot 34 = 71400 \text{ Вт},$$

$$M_{\text{w}} = 110 \cdot 34 = 3740 \text{ Вт},$$

$$M_{\text{CO}_2} = 45 \cdot 34 = 1530 \text{ Вт}.$$

В теплый период при температуре внутреннего воздуха 27 °С вредности от людей составят:

$$Q_{\text{я}} = 58 \cdot 34 = 1972 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{п}} = 200 \cdot 34 = 6800 \text{ Вт},$$

$$M_{\text{w}} = 203 \cdot 34 = 6902 \text{ Вт},$$

$$M_{\text{CO}_2} = 45 \cdot 34 = 1530 \text{ Вт}.$$

## 2.2 Теплопоступления от источников искусственного освещения

Теплопоступления от искусственного освещения определяются по формуле:

$$Q_{\text{и.о.}} = q_{\text{осв}} \cdot A_{\text{пл}} \cdot \eta_{\text{осв}} \cdot E, \quad (16)$$

где  $q_{\text{осв}}$  – максимально допустимая удельная установленная мощность светильника, Вт/м<sup>2</sup>лк, определяется по [табл. 18,4], для светильников прямого света методов интерполяции принимается 0,067;

$A_{\text{пл}}$  – площадь пола помещения, м<sup>2</sup>;

$\eta_{\text{осв}}$  – доля тепла, поступающего от светильника в различные зоны помещений, принимаем равным 1, так как светильник находится в помещении целиком;

$E$  – уровень освещенности, лк, принимается по [10]

$$Q_{\text{и.о.}} = 0,067 \cdot 11167 \cdot 1 \cdot 200 = 149638 \text{ Вт},$$

## 2.3 Вредности от оборудования

Механический цех разделен на 3 участка – механический, сварочный, и участок покраски.

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Механический цех предназначен для холодной обработки металлов. Холодная обработка металлов производится на токарных, сверильных и заточных станках. При работе станков выделяются следующие вредности: пыль, стружка и теплота.

Расчет выделяющихся вредностей от станков на механическом участке

Расчет выделяющихся от станков вредностей ведется в соответствии с [6].

В механическом цехе все станки предусмотрены без охлаждения режущего элемента. Производственные вредности для таких станков – теплота от электродвигателей, рабочие элементы станков и обрабатываемые детали. Для каждого станка валовое количество вредностей составляет 250 Вт на 1 кВт установленной мощности оборудования.

Количество вредностей, выделяющихся от станков, определяется по формуле:

$$Q_{ст} = 250 \cdot P, \quad (17)$$

где  $P$  – установленная мощность станка, кВт.

Для горизонтально-расточного станка 2E656P мощностью 17 кВт количество вредностей составит:

$$Q_{ст} = 250 \cdot 17 = 4250 \text{ Вт.}$$

Расчет для остальных станков производится аналогично. Результаты расчета приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Вредности, выделяющиеся от оборудования на механическом участке

Наименование оборудования	Количество, шт	Мощность, кВт	Вредности, Вт
Механический участок			
Горизонтально-расточной станок 2E656P	1	17	4250
Агрегатный станок для расточки и подрезки флюгеров 99200000	1	2	500



## Окончание таблицы 2.1

Наименование оборудования	Количество, шт	Мощность, кВт	Вредности, Вт
Вертикально-фрезерный обрабатывающий центр портального типа SSD-3680	1	26	6500
Радиально-сверильный станок 2М58-1	1	16	4000
Радиально-сверильный станок 2М57	1	16	4000
Токарно-карусельный станок 1531	1	30	7500
Горизонтально-расточной станок 2Н636 ГФ1	1	20	5000
Специальный радиально-сверильный станок ОС-214 6Б	1	7.5	1875
Вертикально-сверильный станок 2Н135	2	4	1000
Вертикально-сверильный станок 2Н125	1	2.2	550
Горизонтально-расточной станок ТРХ-6113/2	1	18.5	4625
Вертикально-сверильный станок Б-118 7-И-64	1	6	1500
Вертикально-сверильный станок 2Н150	1	7.5	1875
Радиально-сверильный станок 2532Л	1	3.675	918.75
Пилоотрезной станок UZAY280	1	1.5	375
Специальный станок для торцовки труб	1	1	250

Суммарное количество вредностей на механическом участке: 44719 Вт

Расчет вредностей от оборудования на сварочном участке

При выполнении сварочных работ на сварочном участке воздух загрязняется сварочным аэрозолем. Источником выделения вредных веществ при сварке является сварочная дуга.

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

На участке находятся 4 сварочных поста, оборудованных местными отсосами – передвижными фильтровентиляционными агрегатами.

Технологический процесс – полуавтоматическая электродуговая сварка в среде углекислого газа;

Применяемый материал – электродная проволока С-08 Г2С;

Выделения вредных веществ:

- пыль – 9,7 г/кг;
- оксид марганца (MnO) – 0,5 г/кг;
- оксид хрома (CrO) – 0,02 г/кг;
- оксиды железа – 7,48 г/кг;
- окись углерода (CO) – 14 г/кг.

Количество загрязняющих веществ определяется по формуле:

$$M_B = Y \cdot B_{\text{ч}} \cdot K_{\text{МО}}, \quad (18)$$

где  $Y$  – удельные выделения вредных веществ, г/кг;

$B_{\text{ч}}$  – расход электрода, кг/ч;

$K_{\text{МО}}$  – коэффициент эффективности местного отсоса.

На участке использованы местные отсосы с  $K_{\text{МО}}=0,7$ .

По формуле 18 определяем количество загрязняющих веществ на один сварочный пост:

$$M_{\text{пыли}} = 9,7 \cdot 1,8 \cdot 0,7 = 12,22 \frac{\text{г}}{\text{ч}}$$

$$M_{\text{MnO}} = 0,5 \cdot 1,8 \cdot 0,7 = 0,63 \frac{\text{г}}{\text{ч}}$$

$$M_{\text{CrO}} = 0,02 \cdot 1,8 \cdot 0,7 = 0,03 \frac{\text{г}}{\text{ч}}$$

$$M_{\text{FeO}} = 7,48 \cdot 1,8 \cdot 0,7 = 9,42 \frac{\text{г}}{\text{ч}}$$

$$M_{\text{CO}} = 14 \cdot 1,8 \cdot 0,7 = 17,64 \frac{\text{г}}{\text{ч}}$$

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Количество загрязняющих веществ на всем участке сварки определяется по формуле:

$$M_B^{\text{сумм}} = M_B \cdot n, \quad (19)$$

где  $M_B$  – количество загрязняющих веществ на одном сварочном посту, г/ч;

$n$  – количество сварочных постов на участке, шт.

$$M_{\text{пыли}}^{\text{сумм}} = 12,22 \cdot 4 = 48,88 \frac{\text{г}}{\text{ч}},$$

$$M_{\text{MnO}}^{\text{сумм}} = 0,63 \cdot 4 = 2,52 \frac{\text{г}}{\text{ч}},$$

$$M_{\text{CrO}}^{\text{сумм}} = 0,03 \cdot 4 = 0,12 \frac{\text{г}}{\text{ч}},$$

$$M_{\text{FeO}}^{\text{сумм}} = 9,42 \cdot 4 = 37,68 \frac{\text{г}}{\text{ч}},$$

$$M_{\text{CO}}^{\text{сумм}} = 17,64 \cdot 4 = 70,56 \frac{\text{г}}{\text{ч}},$$

#### Расчет вредностей от оборудования на участке покраски

На участке покраски установлено три окрасочно-сушильных камеры - две для окраски деталей и одна для окраски готовых изделий размером 32000x7000x5000 мм. Способ окраски - пневматическое распыление.

При окраске изделий воздух загрязняется парами растворителей и красочным аэрозолем.

В окрасочной камере на изделия наносится эмаль Ас-182, часовой расход которой определяется из условия, что на окраску 1 м<sup>2</sup> поверхности затрачивается 0,8 минут при расходе эмали 230 г/м<sup>2</sup>. Окрасочная часть камеры оборудована гидрофильтром, в котором, согласно [8], задерживается 35 % растворителя.

Масса краски, используемой для покрытия, определяется по формуле:

$$m_k = \frac{G_э \cdot 60}{t}, \quad (20)$$

где  $G_э$  – расход эмали, г/м<sup>2</sup>;

$t$  – время, затраченное на окраску 1 м<sup>2</sup> поверхности, мин.

Количество аэрозоля краски, выделяющегося при нанесении ЛКМ на поверхность изделия, определяется по формуле:

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$П_{ок}^a = \frac{m_k \cdot \delta_a}{10^2}, \quad (21)$$

где  $m_k$  – масса краски, используемой для покрытия, г;

$\delta_a$  – доля окраски, потерянной в виде аэрозоля, %, определяется по [табл. 7.2, 6].

Количество летучей части каждого компонента определяется по формуле:

$$П_{ок}^{пар} = \frac{m_k \cdot f_p \cdot \delta'_p}{10^6}, \quad (22)$$

где  $f_p$  – доля летучей части (растворителя) в ЛКМ, определяется по [табл. 7.1, 6];

$\delta'_p$  – доля растворителя в ЛКМ, выделившегося при нанесении покрытия, определяется по [табл. 7.2, 6].

В процессе сушки происходит практически полный переход летучей части ЛКМ (растворителя) в парообразное состояние:

$$П_c^{пар} = \frac{m_k \cdot f_p \cdot \delta''_p}{10^6}, \quad (23)$$

где  $\delta''_p$  – доля растворителя в ЛКМ, выделившаяся при сушке покрытия, определяется по [табл. 7.2, 6].

По формулам (20) – (23) для одной сушильной камеры:

$$m_k = \frac{230 \cdot 60}{0,8} = 17,25 \text{ г,}$$

$$П_{ок}^a = \frac{17,25 \cdot 30}{10^2} = 5,175 \text{ г/ч,}$$

Количество паров ксилола:

$$П_{ок}^{КС} = \frac{17,25 \cdot 47 \cdot 85 \cdot 25}{10^6} = 1,723 \frac{\text{г}}{\text{ч}}$$

Количество паров уайт-спирта:

$$П_{ок}^y = \frac{17,25 \cdot 47 \cdot 5 \cdot 25}{10^6} = 0,101 \frac{\text{г}}{\text{ч}}$$

Количество паров сольвента:

$$П_{ок}^c = \frac{17,25 \cdot 47 \cdot 10 \cdot 25}{10^6} = 0,203 \frac{\text{г}}{\text{ч}}$$

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Так как камера оборудована гидрофильтром, то количество летучей части компонента, которое выбрасывается в атмосферу в час, будет равно:

$$П_{ок}^{пар''} = П_{ок}^{пар} \cdot (1 - k), \quad (24)$$

где  $k$  – доля растворителя, задерживающаяся в гидрофильтре.

По формуле (24):

$$П_{ок}^{кв''} = 1,723 \cdot (1 - 0,35) = 1,12 \frac{\text{г}}{\text{ч}},$$

$$П_{ок}^{у''} = 0,101 \cdot (1 - 0,35) = 0,066 \frac{\text{г}}{\text{ч}},$$

$$П_{ок}^{с''} = 0,203 \cdot (1 - 0,35) = 0,132 \frac{\text{г}}{\text{ч}}.$$

Количество аэрозоля краски и летучего компонента для нескольких сушильных камер рассчитывается по формуле:

$$П_{сумм}^в = П_{ок}^в \cdot n, \quad (25)$$

где  $П_{ок}^в$  – количество паров вредного вещества, выделяющееся от одной камеры, г/ч;

$n$  – количество окрасочных камер, шт.

$$П_{сумм}^а = 5,175 \cdot 3 = 15,525 \frac{\text{г}}{\text{ч}},$$

$$П_{сумм}^{кв} = 1,723 \cdot 3 = 5,169 \frac{\text{г}}{\text{ч}},$$

$$П_{сумм}^{ус} = 0,101 \cdot 3 = 0,303 \frac{\text{г}}{\text{ч}},$$

$$П_{сумм}^с = 0,203 \cdot 3 = 0,609 \frac{\text{г}}{\text{ч}},$$

#### 2.4 Теплопоступления от солнечной радиации

Теплопоступления от солнечной радиации рассчитываются в программе Sunny Radiation. Расчет производится для теплого периода года с учетом теплопоступлений через окна, стены, светоаэрационные фонари и покрытие.

Исходные данные для окон:

- координата - 56° с.ш.;

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

- средняя температура наружного воздуха, принимаемая по [табл. 5.1, 1],  $t_{н.ср} = 17,4^{\circ}\text{C}$ ;
- суточная амплитуда температуры, принимаемая по [табл. 4.1, 1],  $A_{тн} = 12,9^{\circ}\text{C}$ ;
- тройное остекление со стеклом листовым оконным без солнцезащитных устройств, толщина стекла 6 мм;
- площадь оконных проемов, ориентированных на СЗ – 1242 м<sup>2</sup>;
- площадь оконных проемов, ориентированных на ЮВ – 1108,8 м<sup>2</sup>;
- площадь оконных проемов, ориентированных на ЮЗ – 417,6 м<sup>2</sup>;
- длина горизонтальных и вертикальных элементов затенения  $L_{г} = L_{в} = 0,2$  м;
- коэффициент поглощения солнечной радиации  $\rho_{п} = 0,7$ ;
- сопротивление теплопередачи окна  $R_{п} = 0,52 \frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$ ;
- коэффициент затенения светового проема переплетами  $\tau_2 = 0,5$ ;
- коэффициент относительного проникания солнечной радиации  $K_{отн} = 0,69$ ;
- ориентация окна – вертикальная;
- два типа окон: 6х6 м; 6х1,8 м.

Расчет теплопоступлений от солнечной радиации для окон, ориентированных на СЗ

Для окон 1 типа (6х6 м):

	Ориентация									
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		
	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
$Q_{вп}, \text{Вт/м}^2$	0	0	0	0	0	0	26	174	338	401
$Q_{вр}, \text{Вт/м}^2$	56	57	58	58	59	62	72	87	98	93
$h, ^{\circ}$	37	45	51	54	54	51	45	37	29	21
$A_{с}, ^{\circ}$	69	53	38	12	12	33	53	69	82	95
$A_{о}, ^{\circ}$	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
$A_{со}, ^{\circ}$	66	82	102	123	123	102	82	66	53	40
$\beta, ^{\circ}$	28	8	-10	-22	-22	-10	8	28	47	63
$S_{в}, \text{Вт/м}^2$	0	0	0	0	0	0	93	260	414	460
$D_{в}, \text{Вт/м}^2$	76	77	79	80	80	85	95	119	133	125
$\beta_2$	-0.13	0.13	0.38	0.6	0.79	0.92	0.99	0.99	0.92	0.79
$K_{инс.в.}$	0.8679	0.5801	1	1	1	1	0.5801	0.8679	0.9265	0.9558
$K_{обл.}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$Q_{пр}, \text{Вт/м}^2$	19	20	20	20	20	21	30	82	142	164
$t_{н.усл.}, ^{\circ}\text{C}$	18.0902	19.7905	21.432	22.8697	24.1122	25.047	26.7798	30.7209	33.7248	33.8503
$Q_{пт.}, \text{Вт/м}^2$	-17	-14	-11	-8	-6	-4	0	7	13	13
$Q_{пр} + Q_{пт}$	2	6	9	12	15	18	30	89	155	177
$Q_{ост.}, \text{Вт}$	2079	5669	9202	11905	14603	17398	29132	88126	152637	175056

МАХ

Окна

Высота окна :  $H = 6$  м  С  
 Ширина окна :  $B = 6$  м  СВ  
 Длина горизонт. эл-тов затенения :  $L_r = 0.2$  м  В  
 Длина вертикал. эл-тов затенения :  $L_v = 0.2$  м  ЮВ  
 Расстояние от горизонтального :  $a = 0$  м  Ю  
 и вертикального :  $c = 0$  м  ЮЗ  
 З  
 СЗ

элементов затенения до откоса светового проёма

Количество однотипных одинаково направленных окон :  $27$  шт.  
 Площадь световых проёмов :  $F_{\Pi} = 972$  м<sup>2</sup>

Приведённый коэф. поглощения солнечной радиации :  $\rho_{\Pi} = 0.7$   
 Сопротивление теплопередаче заполнения светового проёма :  $R_{\Pi} = 0.52$  м<sup>2</sup>·°C/Вт  
 Коэф.затенения светового проёма переплётками :  $\tau_{2} = 0.5$   
 Коэф. относ. проникания солн. радиации :  $K_{отн} = 0.69$

Ориентация окна :  
 Вертикальная  Наклонная (близко к вертикальной)  Горизонтальная

Северная широта района :  $56$  °  
 Средняя температура наружного воздуха :  $t_{н.ср} = 17.4$  °C  
 Температура внутреннего воздуха :  $t_{в} = 27$  °C  
 Скорость ветра :  $V = 1$  м/с  
 Суточная амплитуда температуры нар. в-ха:  $A_{тн} = 12.9$  °C

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхностью окна :  $\alpha_{н}^в = 17.4$   $\alpha_{н}^г = 11.3$

Рисунок 4.1 и 4.2 – Расчет теплопоступлений через окна типа 1, ориентированные на СЗ, в программе Sunny Radiation

Для окон типа 2 (6x1,8 м):

Окна

Высота окна :  $H = 1.8$  м  С  
 Ширина окна :  $B = 6$  м  СВ  
 Длина горизонт. эл-тов затенения :  $L_r = 0.2$  м  В  
 Длина вертикал. эл-тов затенения :  $L_v = 0.2$  м  ЮВ  
 Расстояние от горизонтального :  $a = 0$  м  Ю  
 и вертикального :  $c = 0$  м  ЮЗ  
 З  
 СЗ

элементов затенения до откоса светового проёма

Количество однотипных одинаково направленных окон :  $25$  шт.  
 Площадь световых проёмов :  $F_{\Pi} = 270$  м<sup>2</sup>

Приведённый коэф. поглощения солнечной радиации :  $\rho_{\Pi} = 0.7$   
 Сопротивление теплопередаче заполнения светового проёма :  $R_{\Pi} = 0.52$  м<sup>2</sup>·°C/Вт  
 Коэф.затенения светового проёма переплётками :  $\tau_{2} = 0.5$   
 Коэф. относ. проникания солн. радиации :  $K_{отн} = 0.69$

Ориентация окна :  
 Вертикальная  Наклонная (близко к вертикальной)  Горизонтальная

Северная широта района :  $56$  °  
 Средняя температура наружного воздуха :  $t_{н.ср} = 17.4$  °C  
 Температура внутреннего воздуха :  $t_{в} = 27$  °C  
 Скорость ветра :  $V = 1$  м/с  
 Суточная амплитуда температуры нар. в-ха:  $A_{тн} = 12.9$  °C

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхностью окна :  $\alpha_{н}^в = 17.4$   $\alpha_{н}^г = 11.3$

	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		
	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
$q_{вп} \cdot Вт/м^2$	0	0	0	0	0	0	26	174	338	401
$q_{вр} \cdot Вт/м^2$	56	57	58	58	59	62	72	87	98	93
$h \cdot ^\circ$	37	45	51	54	54	51	45	37	29	21
$A_c \cdot ^\circ$	69	53	33	12	12	33	53	69	82	95
$A_o \cdot ^\circ$	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
$A_{co} \cdot ^\circ$	66	82	102	123	123	102	82	66	53	40
$\beta \cdot ^\circ$	28	8	-10	-22	-22	-10	8	28	47	63
$S_{в} \cdot Вт/м^2$	0	0	0	0	0	0	93	260	414	460
$D_{в} \cdot Вт/м^2$	76	77	79	80	80	85	95	119	133	125
$\beta_2$	-0.13	0.13	0.38	0.6	0.79	0.92	0.99	0.99	0.92	0.79
$K_{инс.в.}$	0.7346	0.1538	1	1	1	1	0.1538	0.7346	0.858	0.9179
$K_{обл}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$q_{пр} \cdot Вт/м^2$	19	20	20	20	20	21	26	74	134	159
$t_{н.усл} \cdot ^\circ C$	18.0902	19.7905	21.432	22.8697	24.1122	25.047	25.9836	30.0234	33.1544	33.4997
$q_{пт} \cdot Вт/м^2$	-17	-14	-11	-8	-6	-4	-2	6	12	12
$q_{пр} + q_{пт}$	2	6	9	12	15	18	24	80	146	172
$Q_{ост} \cdot Вт$	577	1575	2556	3307	4056	4833	6618	21919	39910	47005

MAX

Рисунок 4.3 и 4.4 – Расчет теплопоступлений через окна типа 2, ориентированные на СЗ, в программе Sunny Radiation

Максимальные теплопоступления для окон 1-го и 2-го типа приходятся на 17-18 часов.

Расчет теплопоступлений от солнечной радиации для окон, ориентированных на ЮВ

Для окон 1 типа (6x6 м):

Окна

Высота окна :  $H = 6$  м  С  СВ  В  ЮВ  Ю  ЮЗ  З  СЗ

Ширина окна :  $B = 6$  м

Длина горизонт. эл-тов затенения :  $L_g = 0.2$  м

Длина вертикал. эл-тов затенения :  $L_b = 0.2$  м

Расстояние от горизонтального :  $a = 0$  м

и вертикального :  $c = 0$  м

элементов затенения до откоса светового проёма

Количество однотипных одинаково направленных окон : 23 шт.

Площадь световых проёмов :  $F_{п} = 828$  м<sup>2</sup>

Приведённый коэф. поглощения солнечной радиации :  $\rho_{п} = 0.7$

Сопротивление теплопередаче заполнения светового проёма :  $R_{п} = 0.52$  м<sup>2</sup>·°C/Вт

Коэф.затенения светового проёма переплётками :  $\tau_2 = 0.5$

Коэф. относ. проникания солн. радиации :  $K_{отн} = 0.69$

Ориентация окна :  Вертикальная  Наклонная (близко к вертикальной)  Горизонтальная

Северная широта района : 56 °

Средняя температура наружного воздуха :  $t_{н.ср} = 17.4$  °C

Температура внутреннего воздуха :  $t_{в} = 27$  °C

Скорость ветра :  $V = 1$  м/с

Суточная амплитуда температуры нар. в-ха :  $\Delta t_{н} = 12.9$  °C

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности окна :  $\alpha_{н}^в = 17.4$   $\alpha_{н}^г = 11.3$



	С		СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	
$Q_{вп.} \text{ Вт/м}^2$	479	479	427	330	176	21	0	0	0	0
$Q_{вр.} \text{ Вт/м}^2$	108	102	92	79	76	72	67	64	53	42
$h \text{ ,}^\circ$	37	45	51	54	54	51	45	37	29	21
$A_c \text{ ,}^\circ$	69	53	33	12	12	33	53	69	82	95
$A_o \text{ ,}^\circ$	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
$A_{co} \text{ ,}^\circ$	24	8	12	33	33	12	8	24	37	50
$\beta \text{ ,}^\circ$	50	45	38	31	31	38	45	50	55	59
$S_{в.} \text{ Вт/м}^2$	550	551	502	413	260	91	0	0	0	0
$D_{в.} \text{ Вт/м}^2$	145	138	134	107	102	98	92	86	72	56
$\beta_2$	-0.13	0.13	0.38	0.6	0.79	0.92	0.99	0.99	0.92	0.79
К <sub>инс.в.</sub>	0.9581	0.9618	0.9511	0.9249	0.9249	0.9511	0.9618	0.9581	0.9524	0.9412
К <sub>обл.</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$Q_{пр.} \text{ Вт/м}^2$	196	194	172	133	82	32	23	22	18	14
$t_{н.усл.} \text{ ,}^\circ\text{C}$	30.0771	31.6775	32.1503	31.1059	29.3904	27.0461	25.6361	25.5154	24.7823	23.6188
$Q_{пт.} \text{ Вт/м}^2$	6	9	10	8	5	0	-3	-3	-4	-7
$Q_{пр} + Q_{пт}$	202	203	182	141	87	32	20	19	14	8
$Q_{ост.} \text{ Вт}$	169395	170712	152717	118080	73097	26742	17222	16157	11783	6713
	MAX									

Рисунок 4.5 и 4.6 – Расчет теплопоступлений через окна типа 1, ориентированные на ЮВ, в программе Sunny Radiation

Для окон типа 2 (6x1,8 м):

Окна

Высота окна:  $H = 1.8$  м  С  СВ  В  ЮВ  Ю  ЮЗ  З  СЗ

Ширина окна:  $B = 6$  м

Длина горизонт. э-тов затенения:  $L_g = 0.2$  м

Длина вертик. э-тов затенения:  $L_{вz} = 0.2$  м

Расстояние от горизонтального:  $a = 0$  м  З  СЗ

и вертикального:  $c = 0$  м

элементов затенения до откоса светового проема

Количество односторонних одинаково направленных окон: 26 шт.

Площадь световых проемов:  $F_{п} = 280.8 \text{ м}^2$

Приведенный коэф. поглощения солнечной радиации:  $\rho_{п} = 0.7$

Сопротивление теплопередаче заполнения светового проема:  $R_{п} = 0.52 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{}^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$

Коэф. затенения светового проема переплетами:  $\tau_{2+} = 0.5$

Коэф. относ. проникания солн. радиации:  $K_{отн} = 0.69$

Ориентация окна:  Вертикальная  Наклонная (близко к вертикальной)  Горизонтальная

Северная широта района: 56 °

Средняя температура наружного воздуха:  $t_{н.ср} = 17.4 \text{ }^\circ\text{C}$

Температура внутреннего воздуха:  $t_{в} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$

Скорость ветра:  $V = 1 \text{ м/с}$

Суточная амплитуда температуры нар. в-ка:  $A_{(h)} = 12.9 \text{ }^\circ\text{C}$

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхностью окна:  $\alpha_{н}^в = 17.4$   $\alpha_{н}^г = 11.3$

	С		СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	
$Q_{вп.} \text{ Вт/м}^2$	479	479	427	330	176	21	0	0	0	0
$Q_{вр.} \text{ Вт/м}^2$	108	102	92	79	76	72	67	64	53	42
$h \text{ ,}^\circ$	37	45	51	54	54	51	45	37	29	21
$A_c \text{ ,}^\circ$	69	53	33	12	12	33	53	69	82	95
$A_o \text{ ,}^\circ$	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
$A_{co} \text{ ,}^\circ$	24	8	12	33	33	12	8	24	37	50
$\beta \text{ ,}^\circ$	50	45	38	31	31	38	45	50	55	59
$S_{в.} \text{ Вт/м}^2$	550	551	502	413	260	91	0	0	0	0
$D_{в.} \text{ Вт/м}^2$	145	138	134	107	102	98	92	86	72	56
$\beta_2$	-0.13	0.13	0.38	0.6	0.79	0.92	0.99	0.99	0.92	0.79
К <sub>инс.в.</sub>	0.8949	0.8836	0.8536	0.8	0.8	0.8536	0.8836	0.8949	0.8997	0.8965
К <sub>обл.</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$Q_{пр.} \text{ Вт/м}^2$	185	181	157	118	75	31	23	22	18	14
$t_{н.усл.} \text{ ,}^\circ\text{C}$	29.3782	30.8107	31.1658	30.0683	28.7368	26.8673	25.6361	25.5154	24.7823	23.6188
$Q_{пт.} \text{ Вт/м}^2$	5	7	8	6	3	0	-3	-3	-4	-7
$Q_{пр} + Q_{пт}$	190	189	165	124	78	31	20	19	14	8
$Q_{ост.} \text{ Вт}$	54086	53735	47159	35421	22270	8770	5840	5479	3996	2277
	MAX									

Рисунок 4.7 и 4.8 – Расчет теплопоступлений через окна типа 2, ориентированные на ЮВ, в программе Sunny Radiation

Максимальные теплопоступления для окон 1-го и 2-го типа приходится на 9-10 и 8-9 часов соответственно.

Расчет теплопоступлений от солнечной радиации для окон, ориентированных на ЮЗ

Для окон 1 типа (6x6 м):

Окна

Высота окна : H = 6 м  С  СВ

Ширина окна : B = 6 м  В  ЮВ

Длина горизонт. эл-тов затенения : Lг = 0.2 м  Ю  ЮЗ

Длина вертикал. эл-тов затенения : Lв = 0.2 м  З  СЗ

Расстояние от горизонтального : a = 0 м

и вертикального : c = 0 м

элементов затенения до откоса светового проёма

Количество однотипных одинаково направленных окон : 8 шт.

Площадь световых проёмов :  $F_{п} = 288 \text{ м}^2$

Приведённый коэф. поглощения солнечной радиации :  $\rho_{п} = 0.7$

Сопротивление теплопередаче заполнения светового проёма :  $R_{п} = 0.52 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$

Коэф.затенения светового проёма переплётками :  $\tau_2 = 0.5$

Коэф. относ. проникания солн. радиации :  $K_{отн} = 0.69$

Ориентация окна :  Вертикальная  Наклонная (близко к вертикальной)  Горизонтальная

Северная широта района : 56 °

Средняя температура наружного воздуха :  $t_{н.ср} = 17.4 \text{ °C}$

Температура внутреннего воздуха :  $t_{в} = 27 \text{ °C}$

Скорость ветра : V = 1 м/с

Суточная амплитуда температуры нар. в-ха:  $A_{тн} = 12.9 \text{ °C}$

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхностью окна :  $\alpha_{н}^в = 17.4$   $\alpha_{н}^г = 11.3$

	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		
	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
$q_{вп}, \text{Вт/м}^2$	0	0	21	176	330	427	479	479	424	287
$q_{вр}, \text{Вт/м}^2$	64	67	72	76	79	92	102	108	105	90
h, °	37	45	51	54	54	51	45	37	29	21
Ac, °	69	53	33	12	12	33	53	69	82	95
Aco, °	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Aso, °	24	8	12	33	33	12	8	24	37	50
$\beta, °$	50	45	38	31	31	38	45	50	55	59
$S_{в}, \text{Вт/м}^2$	0	0	91	260	413	502	551	550	488	346
$D_{в}, \text{Вт/м}^2$	86	92	98	102	107	134	138	145	142	121
$\beta_2$	-0.13	0.13	0.38	0.6	0.79	0.92	0.99	0.99	0.92	0.79
$K_{инс.в.}$	0.9581	0.9618	0.9511	0.9249	0.9249	0.9511	0.9618	0.9581	0.9524	0.9412
$K_{обл}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$q_{пр}, \text{Вт/м}^2$	22	23	32	82	133	172	194	196	176	124
$t_{н.усл.}, \text{°C}$	18.2914	20.0891	23.5631	28.1649	32.3314	35.6333	37.2245	37.3011	35.5392	31.4799
$q_{пт}, \text{Вт/м}^2$	-17	-13	-7	2	10	17	20	20	16	9
$q_{пр} + q_{пт}$	5	10	25	85	143	188	214	215	192	133
$Q_{ост}, \text{Вт}$	1559	2872	7343	24736	41760	55077	62496	62981	56105	38852

MAX

Рисунок 4.9 и 4.10 – Расчет теплопоступлений через окна типа 1, ориентированные на ЮЗ, в программе Sunny Radiation

Для окон типа 2 (6x1,8 м):

**Окна**

Высота окна : H = 1.8 м  С  СВ  В  ЮВ  Ю  ЮЗ  З  СЗ

Ширина окна : B = 6 м

Длина горизонт. эл-тов затенения : Lг = 0.2 м

Длина вертик. эл-тов затенения : Lв = 0.2 м

Расстояние от горизонтального : a = 0 м

и вертикального : c = 0 м

элементов затенения до откоса светового проема

Количество однотипных одинаково направленных окон : 12 шт.

Площадь световых проемов :  $F_{\Pi} = 129.6 \text{ м}^2$

Приведенный коэф. поглощения солнечной радиации :  $\rho_{\Pi} = 0.7$

Сопротивление теплопередаче заполнения светового проема :  $R_{\Pi} = 0.52 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$

Коэф. затенения светового проема переплетами :  $\tau_2 = 0.5$

Коэф. относ. проникания солн. радиации :  $K_{\text{отн}} = 0.69$

Ориентация окна :  Вертикальная  Наклонная (близко к вертикальной)  Горизонтальная

Северная широта района : 56 °

Средняя температура наружного воздуха :  $t_{\text{н.ср}} = 17.4 \text{ °C}$

Температура внутреннего воздуха :  $t_{\text{в}} = 27 \text{ °C}$

Скорость ветра : V = 1 м/с

Суточная амплитуда температуры нар. в-ва:  $\Delta t_{\text{н}} = 12.9 \text{ °C}$

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхностью окна :  $\alpha_{\text{н}}^{\text{в}} = 17.4$   $\alpha_{\text{н}}^{\text{г}} = 11.3$

	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		
$Q_{\text{вп.}} \text{ Вт/м}^2$	0	0	21	176	330	427	479	479	424	287
$Q_{\text{вр.}} \text{ Вт/м}^2$	64	67	72	76	79	92	102	108	105	90
h , °	37	45	51	54	54	51	45	37	29	21
Ac , °	69	53	33	12	12	33	53	69	82	95
Ao , °	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Aco , °	24	8	12	33	33	12	8	24	37	50
$\beta$ , °	50	45	38	31	31	38	45	50	55	59
$S_{\text{в}} \text{ Вт/м}^2$	0	0	91	260	413	502	551	550	488	346
$D_{\text{в}} \text{ Вт/м}^2$	86	92	98	102	107	134	138	145	142	121
$\beta_2$	-0.13	0.13	0.38	0.6	0.79	0.92	0.99	0.99	0.92	0.79
$K_{\text{инс.в.}}$	0.8949	0.8836	0.8536	0.8	0.8	0.8536	0.8836	0.8949	0.8997	0.8965
$K_{\text{обл}}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$Q_{\text{пр.}} \text{ Вт/м}^2$	22	23	31	75	118	157	181	185	168	120
$t_{\text{н.усл.}} \text{ °C}$	18.2914	20.0891	23.3843	27.5113	31.2938	34.6488	36.3577	36.6022	35.0219	31.1688
$Q_{\text{пт.}} \text{ Вт/м}^2$	-17	-13	-7	1	8	15	18	18	15	8
$Q_{\text{пр.}} + Q_{\text{пт}}$	5	10	24	76	127	172	199	204	183	128
$Q_{\text{ост.}} \text{ Вт}$	701	1292	3166	9968	16658	22647	26204	26790	24103	16822

MAX

Рисунки 4.11 и 4.12 – Расчет теплоступлений через окна типа 2, ориентированные на ЮЗ, в программе Sunny Radiation

Максимальные теплоступления для окон 1-го и 2-го типа приходятся на 15-16 часов.

Расчет теплоступлений от солнечной радиации через светоаэрационные фонари

Светоаэрационные фонари имеют остекление по всем сторонам света.

Для северо-западной и юго-восточной сторон:

– количество окон – 3 шт;

– размеры окна 2x84 м.

Для юго-западной и северо-восточной сторон:

– количество окон – 3 шт

– размеры окна 2x12 м.

**Окна**

Высота окна :  $H = 1.8$  м  С  СВ  В  ЮВ  Ю  ЮЗ  З  СЗ

Ширина окна :  $B = 84$  м

Длина горизонт. эл-тов затенения :  $L_g = 0.2$  м

Длина вертикал. эл-тов затенения :  $L_v = 0.2$  м

Расстояние от горизонтального :  $a = 0$  м

и вертикального :  $c = 0$  м

элементов затенения до откоса светового проёма

Количество однотипных одинаково направленных окон :  $3$  шт.

Площадь световых проёмов :  $F_{п} = 453.6$  м<sup>2</sup>

Приведённый коэф. поглощения солнечной радиации :  $D_{п} = 0.7$

Сопротивление теплопередаче заполнения светового проёма :  $R_{п} = 0.52$  м<sup>2</sup>·°C/Вт

Коэф. затенения светового проёма переплётами :  $\tau_2 = 0.5$

Коэф. относ. проникания солн. радиации :  $K_{отн} = 0.69$

Ориентация окна :  Вертикальная  Наклонная (близко к вертикальной)  Горизонтальная

Северная широта района :  $56$  °

Средняя температура наружного воздуха :  $t_{н,ср} = 17.4$  °C

Температура внутреннего воздуха :  $t_{в} = 27$  °C

Скорость ветра :  $V = 1$  м/с

Суточная амплитуда температуры нар. в-ка :  $A_{тн} = 12.9$  °C

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности окна :  $\alpha_{н}^в = 17.4$   $\alpha_{н}^г = 11.3$

	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
$q_{вп}, \text{Вт/м}^2$	0	0	0	0	0	26	174	338	401
$q_{вр}, \text{Вт/м}^2$	56	57	58	58	59	62	72	87	98
$h, ^\circ$	37	45	51	54	54	51	45	37	29
$A_c, ^\circ$	69	53	33	12	12	33	53	69	82
$A_o, ^\circ$	135	135	135	135	135	135	135	135	135
$A_{co}, ^\circ$	66	82	102	123	123	102	82	66	53
$\beta, ^\circ$	28	8	-10	-22	-22	-10	8	28	47
$S_v, \text{Вт/м}^2$	0	0	0	0	0	93	260	414	460
$D_v, \text{Вт/м}^2$	76	77	79	80	80	85	95	119	133
$\beta_2$	-0.13	0.13	0.38	0.6	0.79	0.92	0.99	0.99	0.92
$K_{инс.в.}$	0.7899	0.1982	1	1	1	1	0.1982	0.7899	0.8948
$K_{обл}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$q_{пр}, \text{Вт/м}^2$	19	20	20	20	20	21	27	77	138
$t_{н,усл}, ^\circ\text{C}$	18.0902	19.7905	21.432	22.8697	24.1122	25.047	26.0666	30.3128	33.4608
$q_{пт}, \text{Вт/м}^2$	-17	-14	-11	-8	-6	-4	-2	6	12
$q_{пр} + q_{пт}$	2	6	9	12	15	18	25	84	151
$Q_{ост}, \text{Вт}$	970	2646	4294	5556	6815	8119	11377	38608	69295

MAX

Рисунки 4.13 и 4.14 – Теплопоступления через аэрационный фонарь для СЗ и ЮВ сторон

	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		
	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
$Q_{вп.} \text{ Вт/м}^2$	479	479	427	330	176	21	0	0	0	0
$Q_{вр.} \text{ Вт/м}^2$	108	102	92	79	76	72	67	64	53	42
$h, ^\circ$	37	45	51	54	54	51	45	37	29	21
$A_c, ^\circ$	69	53	33	12	12	33	53	69	82	95
$A_o, ^\circ$	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
$A_{co}, ^\circ$	24	8	12	33	33	12	8	24	37	50
$\beta, ^\circ$	50	45	38	31	31	38	45	50	55	59
$S_{в.} \text{ Вт/м}^2$	550	551	502	413	260	91	0	0	0	0
$D_{в.} \text{ Вт/м}^2$	145	138	134	107	102	98	92	86	72	56
$\beta_2$	-0.13	0.13	0.38	0.6	0.79	0.92	0.99	0.99	0.92	0.79
$K_{инс.в.}$	0.9073	0.8875	0.8593	0.8165	0.8165	0.8593	0.8875	0.9073	0.9212	0.931
$K_{обл}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$Q_{пр.} \text{ Вт/м}^2$	187	182	158	120	76	31	23	22	18	14
$t_{н.усл.}, ^\circ\text{C}$	29.5153	30.854	31.2234	30.2053	28.8232	26.8777	25.6361	25.5154	24.7823	23.6188
$Q_{пт.} \text{ Вт/м}^2$	5	7	8	6	4	0	-3	-3	-4	-7
$Q_{пр.} + Q_{пт.}$	192	189	166	126	79	31	20	19	14	8
$Q_{ост.} \text{ Вт}$	88435	87139	76617	58205	36512	14194	9435	8851	6455	3678
	MAX									

Рисунок 4.15 – Теплопоступления через аэрационный фонарь для СЗ и ЮВ сторон

Максимальные теплопоступления для северо-западной стороны приходятся на 17-18 часов и составляют 80730 Вт, для юго-восточной на 8-9 часов и составляют 88435 Вт.

Окна

Высота окна :  $H = 2$  м  С

Ширина окна :  $B = 12$  м  СВ

Длина горизонт. эл-тов затенения :  $L_r = 0.2$  м  В

Длина вертикал. эл-тов затенения :  $L_v = 0.2$  м  ЮВ

Расстояние от горизонтального :  $a = 0$  м  Ю

и вертикального :  $c = 0$  м  ЮЗ

элементов затенения до откоса светового проёма  З

СЗ

Количество однотипных одинаково направленных окон : 3 шт.

Площадь световых проёмов :  $F_{п} = 72 \text{ м}^2$

Приведённый коэф. поглощения солнечной радиации :  $\rho_{п} = 0.7$

Сопротивление теплопередаче заполнения светового проёма :  $R_{п} = 0.52 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$

Козф.затенения светового проёма переплётками :  $\tau_2 = 0.5$

Козф. относ. проникания солн. радиации :  $K_{отн} = 0.69$

Ориентация окна :  Вертикальная  Наклонная (близко к вертикальной)  Горизонтальная

Северная широта района : 56  $^\circ$

Средняя температура наружного воздуха :  $t_{н.ср} = 17.4$   $^\circ\text{C}$

Температура внутреннего воздуха :  $t_{в} = 27$   $^\circ\text{C}$

Скорость ветра :  $V = 1$  м/с

Суточная амплитуда температуры нар. в-ва :  $A_{тн} = 12.9$   $^\circ\text{C}$

Козффициент теплоотдачи наружной поверхностью окна :  $\alpha_{н}^в = 17.4$   $\alpha_{н}^г = 11.3$

Рисунок 4.16 – Теплопоступления через аэрационный фонарь для СЗ и ЮВ сторон

	С		СВ		В		ЮВ		Ю		ЮЗ		З		СЗ	
	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18						
$Q_{вп.} \text{ Вт/м}^2$	174	26	0	0	0	0	0	0	0	0						
$Q_{вр.} \text{ Вт/м}^2$	87	72	62	59	58	58	57	56	53	44						
$h, ^\circ$	37	45	51	54	54	51	45	37	29	21						
$A_c, ^\circ$	69	53	33	12	12	33	53	69	82	95						
$A_o, ^\circ$	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135						
$A_{со}, ^\circ$	66	82	102	123	123	102	82	66	53	40						
$\beta, ^\circ$	28	8	-10	-22	-22	-10	8	28	47	63						
$S_{в.} \text{ Вт/м}^2$	260	93	0	0	0	0	0	0	0	0						
$D_{в.} \text{ Вт/м}^2$	119	95	85	80	80	79	77	76	72	59						
$\beta_2$	-0.13	0.13	0.38	0.6	0.79	0.92	0.99	0.99	0.92	0.79						
$K_{инс.в.}$	0.7842	0.2481	1	1	1	1	0.2481	0.7842	0.8878	0.9366						
$K_{обл}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
$Q_{пр.} \text{ Вт/м}^2$	77	27	21	20	20	20	20	19	18	15						
$t_{н.усл.}, ^\circ\text{C}$	23.0589	20.6128	21.564	22.8867	24.0952	24.915	25.3375	25.3142	24.7823	23.6823						
$Q_{пт.} \text{ Вт/м}^2$	-8	-12	-10	-8	-6	-4	-3	-3	-4	-6						
$Q_{пр} + Q_{пт}$	70	15	11	12	14	16	16	16	14	9						
$Q_{ост.} \text{ Вт}$	5084	1072	799	909	1054	1171	1200	1169	1025	643						

MAX

	С		СВ		В		ЮВ		Ю		ЮЗ		З		СЗ	
	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18						
$Q_{вп.} \text{ Вт/м}^2$	0	0	21	176	330	427	479	479	424	287						
$Q_{вр.} \text{ Вт/м}^2$	64	67	72	76	79	92	102	108	105	90						
$h, ^\circ$	37	45	51	54	54	51	45	37	29	21						
$A_c, ^\circ$	69	53	33	12	12	33	53	69	82	95						
$A_o, ^\circ$	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45						
$A_{со}, ^\circ$	24	8	12	33	33	12	8	24	37	50						
$\beta, ^\circ$	50	45	38	31	31	38	45	50	55	59						
$S_{в.} \text{ Вт/м}^2$	0	0	91	260	413	502	551	550	488	346						
$D_{в.} \text{ Вт/м}^2$	86	92	98	102	107	134	138	145	142	121						
$\beta_2$	-0.13	0.13	0.38	0.6	0.79	0.92	0.99	0.99	0.92	0.79						
$K_{инс.в.}$	0.9107	0.8969	0.8707	0.8269	0.8269	0.8707	0.8969	0.9107	0.9189	0.9216						
$K_{обл}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
$Q_{пр.} \text{ Вт/м}^2$	22	23	31	76	121	160	183	188	171	122						
$t_{н.усл.}, ^\circ\text{C}$	18.2914	20.0891	23.4156	27.6521	31.5172	34.8215	36.5052	36.7769	35.2103	31.3435						
$Q_{в.} \text{ Вт/м}^2$	-17	-13	-7	1	9	15	18	19	16	8						
$Q_{пр} + Q_{пт}$	5	10	24	78	130	175	202	207	186	131						
$Q_{ост.} \text{ Вт}$	390	718	1773	5677	9510	12790	14739	15099	13622	9552						

MAX

Рисунки 4.17 и 4.18 – Теплопоступления через аэрационный фонарь для СВ и ЮЗ сторон

Максимальные теплопоступления для северо-восточной стороны приходятся на 8-9 часов и составляют 5084 Вт, для юго-восточной на 15-16 часов и составляют 15099 Вт.

Расчет суммарных теплопоступлений через окна и светоаэрационные фонари приведен в таблице А.1 приложения А. Максимальные теплопоступления составляют 466484 Вт и приходятся на 16-17 часов.

### 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО ВОЗДУХООБМЕНА

Механический цех разделен на участки – сварочный, механический и участок покраски.

Требуемый воздухообмен рассчитывается для двух периодов года – холодного и теплого.

#### 3.1 Требуемый воздухообмен для холодного периода

Воздухообмен на сварочном участке рассчитывается таким образом, чтобы концентрация выделяющихся вредностей не превышала допустимых норм. Воздухообмен по вредностям на данном участке рассчитывается по формуле:

$$L_{\text{вр}} = \frac{1000 \cdot M_{\text{вр}}}{c_y - c_{\text{пр}}}, \quad (26)$$

где  $M_{\text{вр}}$  – количество вредностей, м<sup>3</sup>/ч;

$C_y$  – концентрация вредностей во внутреннем воздухе, мг/м<sup>3</sup>,

$C_{\text{пр}}$  – концентрация вредностей в наружном (приточном) воздухе, мг/м<sup>3</sup>.

Концентрация вредных веществ в приточном воздухе при выходе из воздухораспределителей в соответствии с [п.5.11, 13] не должна превышать 30% ПДК в воздухе рабочей зоны:

$$c_{\text{пр}} = 0,3 \cdot \text{ПДК}_{\text{вн}}^{\text{р.з}} \quad (27)$$

где  $\text{ПДК}_{\text{вн}}^{\text{р.з}}$  – величина ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м<sup>3</sup>, определяется по [прил.2, 5].

На участке сварки выделяются следующие вредные вещества – пыль, оксид марганца (MnO), оксид хрома (CrO), оксиды железа и окись углерода (CO).

$\text{ПДК}_{\text{вн}}^{\text{пыли}} = 4 \text{ мг/м}^3$ , класс опасности IV;

$\text{ПДК}_{\text{вн}}^{\text{MnO}} = 0,2 \text{ мг/м}^3$ , класс опасности II;

$\text{ПДК}_{\text{вн}}^{\text{CrO}} = 1 \text{ мг/м}^3$ , класс опасности III;

$\text{ПДК}_{\text{вн}}^{\text{FeO}} = 5 \text{ мг/м}^3$ , класс опасности II

$\text{ПДК}_{\text{вн}}^{\text{CO}} = 20 \text{ мг/м}^3$ , класс опасности IV

По формуле (27):

$$c_{\text{пр}}^{\text{пыли}} = 0,3 \cdot 4 = 1,2 \text{ мг/м}^3,$$

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$c_{\text{пр}}^{MnO} = 0,3 \cdot 0,2 = 0,06 \text{ мг/м}^3,$$

$$c_{\text{пр}}^{CrO} = 0,3 \cdot 1 = 0,3 \text{ мг/м}^3,$$

$$c_{\text{пр}}^{FeO} = 0,3 \cdot 5 = 1,5 \text{ мг/м}^3,$$

$$c_{\text{пр}}^{CO} = 0,3 \cdot 20 = 6 \text{ мг/м}^3.$$

Концентрация вредностей в удаляемом воздухе не должна превышать ПДК максимальных разовых выбросов:

$$c_y = \text{ПДК}_{\text{вн.мах}}^B, \quad (28)$$

где  $\text{ПДК}_{\text{вн.мах}}^B$  – максимальные разовые выбросы, принимаются по [прил.2, 5].

$$\text{ПДК}_{\text{вн.мах}}^{\text{пыли}} = 4 \text{ мг/м}^3,$$

$$\text{ПДК}_{\text{вн.мах}}^{MnO} = 0,2 \text{ мг/м}^3,$$

$$\text{ПДК}_{\text{вн.мах}}^{CrO} = 1 \text{ мг/м}^3,$$

$$\text{ПДК}_{\text{вн.мах}}^{FeO} = 5 \text{ мг/м}^3,$$

$$\text{ПДК}_{\text{вн.мах}}^{CO} = 20 \text{ мг/м}^3$$

Концентрация вредностей в удаляемом воздухе:

$$c_y^{\text{пыли}} = 4 \text{ мг/м}^3,$$

$$c_y^{MnO} = 0,2 \text{ мг/м}^3,$$

$$c_y^{CrO} = 1 \text{ мг/м}^3,$$

$$c_y^{FeO} = 5 \text{ мг/м}^3,$$

$$c_y^{CO} = 20 \text{ мг/м}^3.$$

Воздухообмен по вредностям на сварочном участке:

$$L_{\text{пыли}} = \frac{1000 \cdot 48,88}{4 - 1,2} = 17457 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

$$L_{MnO} = \frac{1000 \cdot 2,52}{0,2 - 0,06} = 18000 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

$$L_{CrO} = \frac{1000 \cdot 0,12}{1 - 0,3} = 171 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

$$L_{FeO} = \frac{1000 \cdot 37,68}{5 - 1,5} = 10766 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		



$$L_{CO} = \frac{1000 \cdot 70,56}{20 - 6} = 5050 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

За требуемый воздухообмен на сварочном участке без учета местных отсосов принимаем максимальный из найденных для каждого вещества.

$$L_{\text{вр}}^{\text{max}} = L_{\text{MnO}} = 18000 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

На участке установлены местные отсосы, которые забирают часть воздуха. В качестве отсосов используются передвижные фильтровентиляционные агрегаты, предназначенные для улавливания и очистки воздуха от сварочного дыма и пыли. Максимальный расход удаляемого воздуха через агрегат – 1500 м<sup>3</sup>/ч.

Требуемый воздухообмен на данном участке находится как сумма необходимого воздухообмена по вредностям и объема воздуха, удаляемого местными отсосами.

$$L_{\text{св}} = L_{\text{вр}}^{\text{max}} + L_{\text{мо}}, \quad (29)$$

$$L_{\text{св}} = 18000 + 1500 \cdot 4 = 24000 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Воздухообмен на механическом участке принимается равным 6 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> пола:

$$L_{\text{мех}} = 6 \cdot A_{\text{пл}}, \quad (30)$$

где  $A_{\text{пл}}$  – площадь пола, м<sup>2</sup>.

$$L_{\text{мех}} = 6 \cdot 3744 = 22464 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Воздухообмен по вредностям на участке покраски рассчитывается аналогично воздухообмену на сварочном участке.

На участке покраски выделяются аэрозоль, ксилол, уайт-спирт и сольвент.

ПДК<sub>ВН</sub><sup>а</sup> = 0,5 мг/м<sup>3</sup>, класс опасности II;

ПДК<sub>ВН</sub><sup>КС</sup> = 50 мг/м<sup>3</sup>, класс опасности III;

ПДК<sub>ВН</sub><sup>УС</sup> = 300 мг/м<sup>3</sup>, класс опасности IV;

ПДК<sub>ВН</sub><sup>СО</sup> = 100 мг/м<sup>3</sup>, класс опасности IV

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

По формуле (27):

$$c_{\text{пр}}^a = 0,3 \cdot 0,5 = 0,15 \text{ мг/м}^3,$$

$$c_{\text{пр}}^{\text{кк}} = 0,3 \cdot 50 = 15 \text{ мг/м}^3,$$

$$c_{\text{пр}}^{\text{yc}} = 0,3 \cdot 300 = 90 \text{ мг/м}^3,$$

$$c_{\text{пр}}^{\text{co}} = 0,3 \cdot 100 = 30 \text{ мг/м}^3,$$

Концентрация вредностей в удаляемом воздухе не должна превышать ПДК максимальных разовых выбросов.

Допустимая концентрация вредностей в удаляемом воздухе:

$$c_y^a = 0,5 \text{ мг/м}^3,$$

$$c_y^{\text{кк}} = 50 \text{ мг/м}^3,$$

$$c_y^{\text{yc}} = 300 \text{ мг/м}^3,$$

$$c_y^{\text{co}} = 100 \frac{\text{мг}}{\text{м}^3}$$

Воздухообмен по вредностям на окрасочном участке:

$$L_a = \frac{1000 \cdot 15,525}{0,5 - 0,15} = 44357 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

$$L_{\text{кк}} = \frac{1000 \cdot 5,169}{50 - 15} = 148 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

$$L_{\text{yc}} = \frac{1000 \cdot 0,303}{300 - 90} = 1,4 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

$$L_y = \frac{1000 \cdot 0,609}{100 - 30} = 9 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

За требуемый воздухообмен на участке окраски принимается максимальный из воздухообменов по вредностям:

$$L_{\text{ок}} = L_a = 44357 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Общий воздухообмен по вредностям:

$$L_{\text{сумм}} = L_{\text{св}} + L_{\text{мех}} + L_{\text{окр}} \quad (31)$$

$$L_{\text{сумм}} = 24000 + 22464 + 44357 = 90821 \text{ м}^3/\text{ч}$$

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Определяем температуру приточного воздуха, которая согласно [13] не должна превышать 40 °С:

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{в}} + \frac{3,6 \cdot Q_{\text{от}}^{\text{хп}}}{L_{\text{сумм}} \cdot c \cdot \rho}, \quad (32)$$

где  $t_{\text{в}}$  – температура внутреннего воздуха для холодного периода, °С;

$Q_{\text{от}}^{\text{хп}}$  – тепловые потери для холодного периода года, Вт, определяемые по формуле:

$$Q_{\text{от}}^{\text{хп}} = Q_{\text{зд}} - Q_{\text{пост}}, \quad (33)$$

где  $L_{\text{сумм}}$  – общий требуемый воздухообмен по вредностям, м<sup>3</sup>/ч;

$c$  – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг · °С);

$\rho$  – плотность внутреннего воздуха, кг/м<sup>3</sup>, определяемая по формуле:

$$\rho = \frac{353}{273 - t}, \quad (34)$$

По формулам (32) – (34):

$$\rho = \frac{353}{273 - 15} = 1,37 \text{ °С},$$

$$Q_{\text{от}}^{\text{хп}} = 984425 - 44719 - 71400 - 149638 = 718668 \text{ Вт},$$

$$t_{\text{пр}} = 15 + \frac{3,6 \cdot 718668}{90821 \cdot 1,005 \cdot 1,37} = 36^\circ\text{С} < 40^\circ\text{С}$$

Находим количество тепла, которое необходимо на нагрев вентиляционного воздуха:

$$Q_{\text{вент}} = 0,28 \cdot L_{\text{сумм}} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (35)$$

где  $L_{\text{сумм}}$  – объем воздуха, поступающий в помещение, м<sup>3</sup>/ч;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  – удельная теплоемкость воздуха, принимается равной 1,005 кДж/(кг · °С);

$t_{\text{в}}$  – температура внутреннего воздуха, °С;

$t_{\text{н}}$  – температура наружного воздуха, °С.

$$Q_{\text{вент}} = 0,28 \cdot 90821 \cdot 1,2 \cdot 1,005 \cdot (15 + 34) = 1502753 \text{ Вт}$$

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

## 4.2 Требуемый воздухообмен для теплого периода года

Для теплого периода воздухообмен рассчитывается по формуле:

$$L = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{пост}}^{\text{тп}}}{\rho \cdot c \cdot (t_y - t_{\text{пр}})}, \quad (36)$$

где  $\rho$  – плотность приточного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  – удельная теплоемкость воздуха, принимается равной 1,005 кДж/(кг·°С);

$t_y$  – температура удаляемого воздуха, °С, определяемая по формуле:

$$t_y = t_b + \text{grad } t \cdot (H - h), \quad (37)$$

где  $t_b$  – температура внутреннего воздуха для соответствующего периода года, °С;

$H$  – высота помещения, м;

$h$  – высота рабочей зоны, м, принимаем равной 2, так как люди находятся в стоячем положении;

$\text{grad } t$  – температурный градиент, определяется по приложению 21 [4],

$t_{\text{пр}}$  – температура приточного воздуха, принимается равной 23 °С;

$Q_{\text{пост}}^{\text{тп}}$  – теплоступления для теплого периода, Вт, определяемые по формуле:

$$Q_{\text{пост}}^{\text{тп}} = Q_{\text{ср}} + Q_{\text{об}} + Q_{\text{л}}, \quad (38)$$

где  $Q_{\text{ср}}$  – теплоступления от солнечной радиации, Вт;

$Q_{\text{об}}$  – теплоступления от оборудования, Вт;

$Q_{\text{л}}$  – теплоступления от людей, Вт.

$$Q_{\text{пост}}^{\text{тп}} = 466483 + 44719 + 71400 = 582602 \text{ Вт}$$

Для определения температурного градиента определим тепловую напряженность помещения по формуле:

$$\frac{Q_{\text{пост}}^{\text{тп}}}{V_{\text{пом}}} = \frac{582602}{156 \cdot 72 \cdot 12,6} = 4,12$$

Методом интерполяции  $\text{grad } t = 0,21$

$$t_y = 27 + 0,21 \cdot (12,6 - 2) = 29,2^\circ\text{С}$$

По формуле (36):

$$L_{\text{общ}} = \frac{3,6 \cdot 582602}{1,4 \cdot 1,005 \cdot (29,2 - 23)} = 240430 \text{ м}^3/\text{ч}$$

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Требуемый естественный воздухообмен определяется по формуле:

$$L_{\text{ест}}^{\text{тр}} = L_{\text{общ}} - L_{\text{сумм}}, \quad (39)$$

$$L_{\text{ест}}^{\text{тр}} = 240430 - 90821 = 149609 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Естественная вентиляция осуществляется открыванием створок светоаэрационных фонарей, через которые поступает и удаляется воздух. Определим фактический естественный воздухообмен по формуле:

$$L_{\text{ест}}^{\phi} = F_{\text{откр}} \cdot 3600 \cdot v, \quad (40)$$

где  $F_{\text{откр}}$  – площадь открывания светоаэрационных фонарей,  $\text{м}^2$ ;

$v$  – скорость воздуха,  $\text{м}/\text{с}$ , принимается равной 1,5.

$$L_{\text{ест}}^{\phi} = 1051,2 \cdot 3600 \cdot 1,5 = 5676480 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$L_{\text{ест}}^{\phi} > L_{\text{ест}}^{\text{тр}}$ , значит естественная вентиляция удовлетворяет требуемым условиям.

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

#### 4 ПРИНЯТАЯ СИСТЕМА ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

Проектом предусматривается общая механическая приточная вентиляция, совмещенная с воздушным отоплением, осуществляемая с помощью воздухонагревателей фирмы «Томир» на газообразном топливе через систему воздуховодов.

Подача приточного воздуха осуществляется в рабочую зону сверху-вниз конической струёй через сопловые воздухораспределители типа SMK 250 фирмы «Арктика».

Для удаления загрязняющих веществ на участках окраски и сварки запроектирована местная вытяжная вентиляция. Местная вентиляция осуществляется с помощью местных отсосов, установленных над оборудованием, что позволяет улучшить микроклиматические условия на сварочных постах, а также на участке покраски.

Кроме местной вытяжной вентиляции предусмотрена общеобменная в однократном размере через вентиляторы фирмы «ВЕЗА», установленные на крыше здания.

Вытяжные каналы воздуховода должны периодически очищаться от загрязняющих веществ.

Запроектированная система вентиляции обеспечивает подачу чистого воздуха в помещение, удаляет загрязняющие воздух вещества, способствует поддержанию комфортной температуры и влажности в производственных помещениях для безопасного и наиболее эффективного технологического процесса. Воздушное отопление обеспечивает равномерность прогрева воздуха в помещениях большого объема, а также поддерживает необходимые параметры микроклимата в помещении.

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

При вентиляции, совмещенной с воздушным отоплением, системы не требуют дополнительного оборудования, отопительных приборов, а также прокладки отдельных сетей отопления и вентиляции, что является более экономически выгодным и эффективным решением для проектирования инженерных сетей в механическом цехе.

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

## 6 ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ

Для воздушного отопления и приточной вентиляции механо-сборочного цеха используются воздухонагреватели марки ВТР рекуперативного типа, произведенные компанией «Томир». Принцип действия воздухонагревателей основан на непрямом нагреве. Воздух, подаваемый в помещение, нагревается от дымовых газов через стенку, разделяющую эти потоки.

Процесс нагрева происходит следующим образом:

- 1) топливо в смеси с требуемым количеством воздуха подаётся автоматической блочной горелкой (1) в камеру сгорания рекуперативного теплообменника (2) воздухонагревателя;
- 2) образовавшиеся при сгорании топлива дымовые газы проходят внутри конвективной части (3) теплообменника и разогревают её;
- 3) холодный воздух, подаваемый вентилятором (5), омывает нагретые стенки камеры сгорания и конвективной части теплообменника, нагревается и подается в отапливаемое помещение через воздухораспределительные решетки и систему воздуховодов;
- 4) отдавшие свое тепло дымовые газы отводятся через патрубок теплообменника (4) в дымовую трубу .

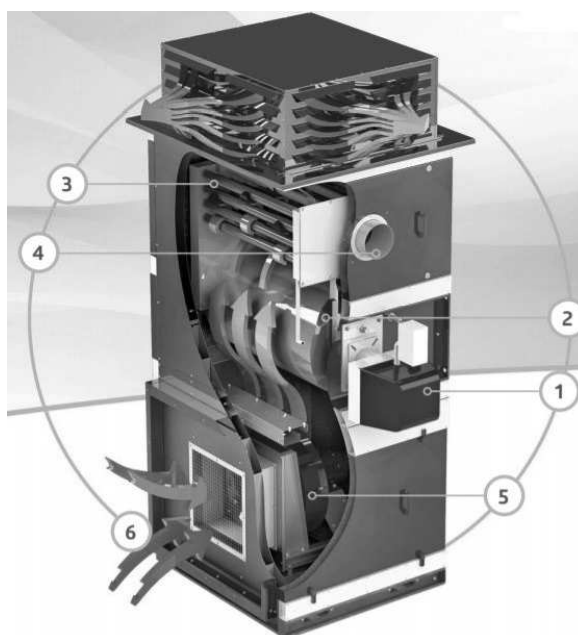


Рисунок 5.1 – Конструкция воздухонагревателя ВТР

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		



Так как в помещениях выделяются вредные вещества, которые должны полностью удаляться, принимается приточная система.

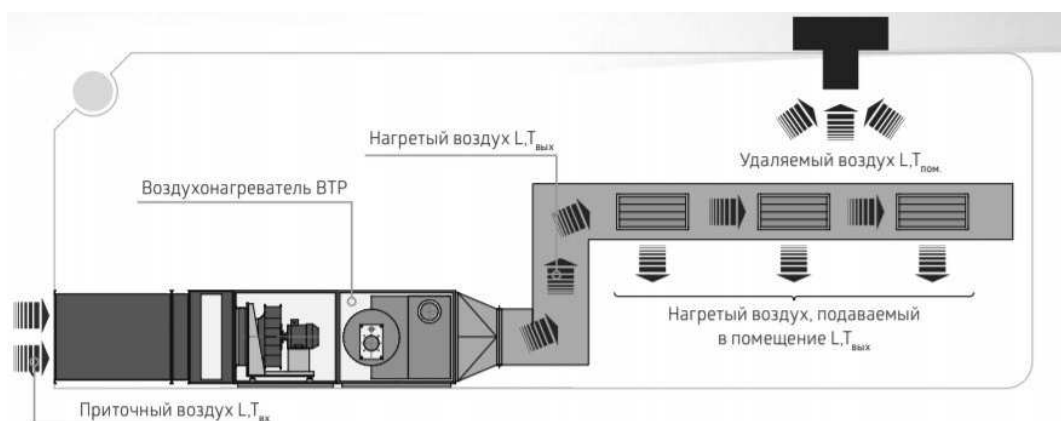


Рисунок 5.2 – Приточная система. Полный приток

Все воздухонагреватели оснащаются системой управления, которая обеспечивает работу воздухонагревателя в автоматическом режиме, контроль за температурой воздуха и защиту от перегрева.

Принимаются воздухонагреватели типа «СТАНДАРТ» - агрегаты с вертикальной компоновкой, предназначенные для установки снаружи отапливаемых помещений, состоящие из двух последовательно установленных корпусных модулей: вентиляционного и теплообменного.

Особенности данного типа воздухонагревателей:

- встроенный в корпус вентилятор, выполненный по схеме «свободное рабочее колесо»;
- каркас с тепло-шумоизолирующими панелями;
- возможность работать при температуре наружного воздуха до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- возможность отопления помещений с повышенной огне- и взрывоопасностью.

Модель ВТР выбирается по двум параметрам – номинальная теплопроизводительность, кВт, и производительность вентилятора,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Номинальная теплопроизводительность для механо-сборочного цеха должна составлять:

$$Q_{\text{треб}} = Q_{\text{от}}^{\text{хп}} + Q_{\text{вент}}, \quad (41)$$

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$Q_{\text{треб}} = 718668 + 1502753 = 2221421 \text{ Вт} = 2221 \text{ кВт}$$

С учетом запаса 10% необходимы 6 воздухонагревателей мощностью 400 кВт каждый. В соответствии с характеристиками данного воздухонагревателя минимальная производительность вентилятора составит 23880 м<sup>3</sup>/ч.

Процессом работы воздухонагревателя управляет блок автоматики, который отслеживает ряд параметров и соответствующим образом влияет на работу воздухонагревателя. Блок автоматики также выполняет защитные функции, обеспечивая экстренные отключения и сигнализацию нештатных ситуаций.

Количество воздуха, поступающего в помещение с учетом минимальной производительности вентилятора газового воздухонагревателя будет составлять 143280 м<sup>3</sup>/ч. Воздух в этом объеме должен удаляться из помещения.

Для вытяжной общеобменной вентиляции и используются крышные вентиляторы типа КРОС-фирмы «ВЕЗА». Вентиляторы подбираются по расходу воздуха, давлению и температуре через программу подбора вентиляторов «ВЕЗА».

Для вытяжной общеобменной вентиляции и используются крышные вентиляторы типа КРОС-фирмы «ВЕЗА». Вентиляторы подбираются по расходу воздуха, давлению и температуре через программу подбора вентиляторов «ВЕЗА».

С помощью программы для требуемого расхода удаляемого воздуха, температуры среды и давления 100 Па был подобран вентилятор КРОС60-040-00025/04 с давлением 97 Па.

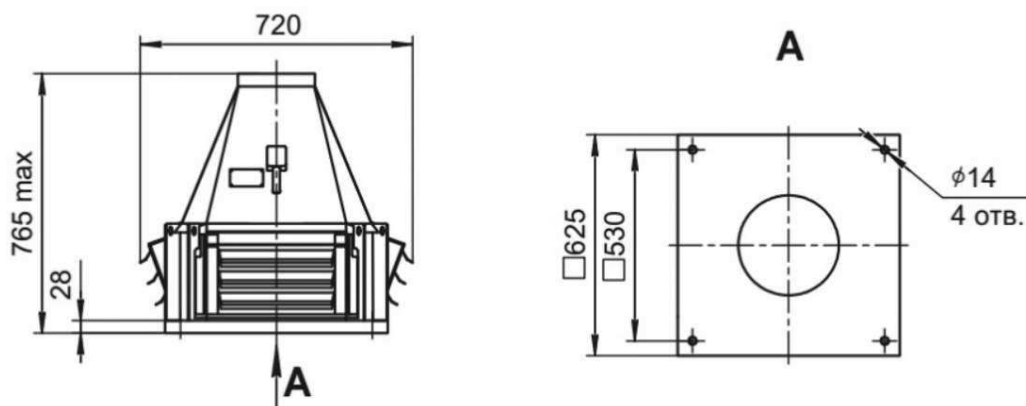


Рисунок 5.3 – Вентиляторы крышные «КРОС» типоразмером 040

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

На крыше установлены 42 вентилятора – по 14 вентиляторов для каждого цеха на расстоянии для равномерной вытяжки воздуха. Расход удаляемого воздуха для одного вентилятора – 3412 м<sup>3</sup>/ч. Вентиляторы установлены в стаканы типа СТАМ100 фирмы «ВЕЗА», которые представляют собой коробчатую конструкцию, состоящую из прочной сварной рамы, несущей основную нагрузку, и герметичной оцинкованной или нержавеющей внешней облицовки..

Для регулирования расхода вытяжного воздуха в общеобменной вентиляции в режимах плавного регулирования используются клапаны РЕГУЛЯР-Л фирмы «ВЕЗА» круглого сечения.

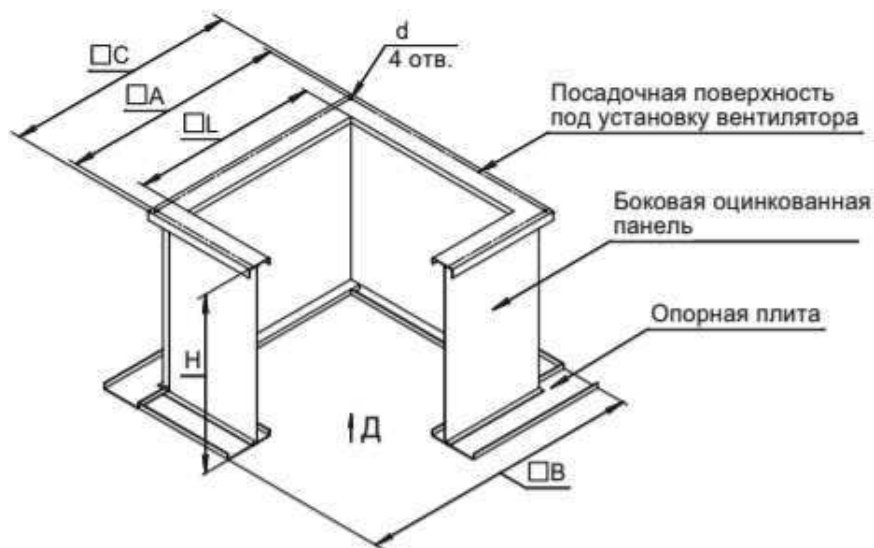


Рисунок 5.4 – Стакан монтажный типа СТАМ100

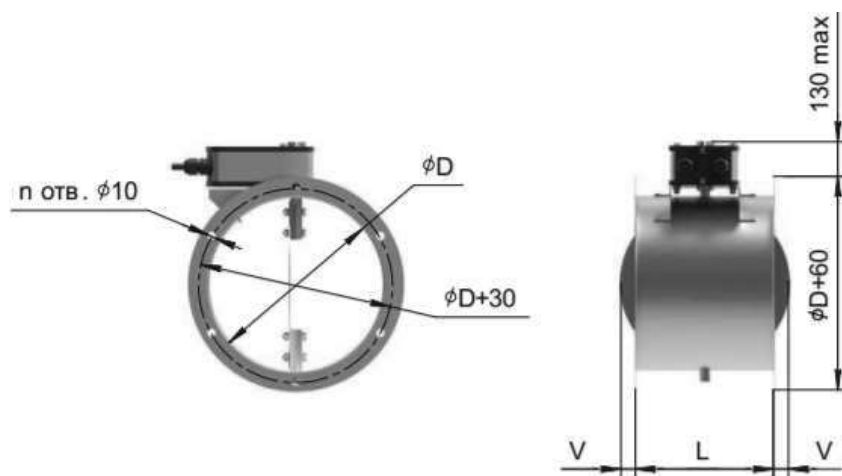


Рисунок 5.5 – Клапан регулирующий круглого сечения РЕГУЛЯР-Л

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

## 7 АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

Аэродинамический расчет сети проводится с целью определения размеров поперечного сечения воздухопроводов и требуемого давления в системе.

- 1) Определяется требуемая площадь поперечного сечения воздухопровода по формуле:

$$F_{\text{тр}} = \frac{L_{\text{уч}}}{3600 \cdot v_p},$$

где  $v_p$  - рекомендуемая скорость воздуха на участке, м/с.

Для промышленных зданий рекомендуемая скорость воздуха на участках принимается равной 5 – 10 м/с, максимальная допустимая скорость – 12 м/с. Поперечное сечение воздухопровода выбирается в соответствии со стандартными размерами воздухопроводов.

- 2) Определяется фактическая скорость движения воздуха на участке:

$$v = \frac{L_{\text{уч}}}{3600 \cdot F_o}, \quad (43)$$

где  $L_{\text{уч}}$  - расход воздуха на участке, м<sup>3</sup>/ч;

$F_o$  – площадь поперечного сечения воздухопровода, м<sup>2</sup>.

- 3) Динамическое давление в сети определяется по формуле:

$$P_d = \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \quad (44)$$

где  $\rho$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

- 4) Далее рассчитывается эквивалентный диаметр  $d_e$  и удельные линейные потери давления  $R$ . Эквивалентный по скорости диаметр круглого воздухопровода равен подобранному диаметру. Удельные линейные потери давления определяются в зависимости от эквивалентного диаметра и фактической скорости движения воздуха.

- 5) Определяются потери давления на трение по формуле:

$$\Delta P_{\text{тр}} = R \cdot \beta_{\text{ш}} \cdot l, \quad (45)$$

где  $\beta_{\text{ш}}$  – коэффициент шероховатости, в данном случае равен 1, так как используются воздухопроводы из оцинкованной стали;

$l$  – длина участка, м.

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

6) Потери давления в местных сопротивлениях на расчетном участке, Па, определяются по следующей формуле:

$$Z = \sum \xi \cdot P_d, \quad (46)$$

где  $\sum \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке, принимаются приложению 25 [4].

7) Потери давления на участке, определяются по формуле:

$$\Delta P_i = \Delta P_{тр} + Z, \quad (47)$$

8) Общие потери давления в сети определяются как сумма давлений на каждом участке сети:

$$\Delta P_{сети} = \sum_{i=1}^n \Delta P_i, \quad (48)$$

где  $\Delta P_i$  – потери давления на i-ом участке, Па.

9) Далее необходимо «увязать» ответвления с магистральными участками исходя из условия, что потери давления на параллельных участках сети должны быть равны. Допустимая невязка - 10 %.

$$H = \frac{\Delta P_{маг} - \Delta P_{отв}}{\Delta P_{маг}} \cdot 100\%, \quad (49)$$

где  $\Delta P_{маг}$  – сумма потерь давления на участках магистрали от точки присоединения ответвления до последнего участка, Па;

$\Delta P_{отв}$  – сумма потерь давления на ответвлении, Па.

#### Пример расчет участка №1 приточной системы.

Расход воздуха на первом участке  $L_1 = 919 \text{ м}^3/\text{ч}$ , длина участка - 7 м.

$$F_{тр} = \frac{919}{3600 \cdot 5} = 0,05 \text{ м}^2$$

Задаем размеры поперечного сечения воздухопроводов в соответствии со стандартными размерами. При диаметре круглого воздуховода 250 мм, фактическая площадь сечения воздуховода равна:

$$F_0 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,25)^2 = 0,049 \text{ м}^2$$

Тогда фактическая скорость движения воздуха в воздуховоде:

$$v = \frac{919}{3600 \cdot 0,049} = 5,201 \text{ м/с}$$

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Динамическое давление в сети:

$$P_d = \frac{1,2 \cdot 5,201^2}{2} = 16,2 \text{ Па.}$$

Эквивалентный диаметр  $d_3=d=250$  мм, удельные линейные потери давления  $R=1,33$  Па/м. Потери давления на трение:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 1,33 \cdot 1 \cdot 7 = 9,3 \text{ Па/м}$$

Для определения потерь давления в местных сопротивлениях находим коэффициенты местных сопротивлений на данном участке:

- воздухораспределитель:  $\xi = 2,2$ ;
- отвод круглого сечения под 90:  $\xi = 0,35$ ;
- тройник на нагнетание на проход:  $\xi = 0,35$

$$\frac{L_o}{L_c} = \frac{919}{1838} = 0,5,$$

$$\frac{f_{\text{п}}}{f_c} = \frac{0,049}{0,099} = 0,5.$$

Сумма КМС :  $\sum \xi = 2,2 + 0,35 + 0,35 = 2,9$

$$Z = 2,9 \cdot 16,2 = 47,1 \text{ Па}$$

Потери давления на участке 1:

$$\Delta P_i = 9,3 + 47,1 = 56 \text{ Па}$$

Суммарные потери давления на основном направлении  $\Delta P_{\text{маг}} = 325$  Па.

Определяем невязку сети:

$$H = \frac{320 - 298}{320} \cdot 100\% = 7\% < 10\%$$

Невязка не превышает допустимое значение.

Расчетная схема для приточной системы приведена в приложении Б

Расчет остальных участков приточной системы проводится аналогично, результаты сведены в таблицу Г.1 приложения Г.

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

## 7 АВТОМАТИЗАЦИЯ

Основными функциями автоматизации являются:

- дистанционное управление;
- автоматический контроль и технологическая систематизация;
- автоматическая блокировка и защита;
- автоматическое регулирование и управление.

В механическом цехе необходимо поддерживать требуемую температуру и расход приточного воздуха. В проекте предусмотрена автоматизация приточной системы воздушного отопления, которая осуществляется с помощью газовых воздухонагревателей.

Процессом работы воздухонагревателя управляет блок автоматики, который отслеживает ряд параметров и соответствующим образом влияет на работу воздухонагревателя. Кроме того, блок автоматики выполняет защитные функции, обеспечивая экстренные отключения и сигнализацию нештатных ситуаций.

### 7.1 Краткое описание технологического оборудования

По ходу движения приточного воздуха в проектируемой системе размещено специальное оборудование:

- 1) Воздушный клапан с приводом,
- 2) Сетчатый фильтр;
- 3) Вентилятор;
- 4) Теплообменник типа воздух/газ;

### 7.2 Постановка задачи автоматизации, контроля и регулирования

Основная функция автоматизации – это контроль и поддержание требуемых климатических параметров в помещении без задействования дополнительной рабочей силы.

В системе должны контролироваться следующие параметры:

- 1) Температура воздуха после теплообменника и температура приточного воздуха в помещении (9-1) ;

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

- 2) Загрязненность фильтра (3-1);
- 3) Бесперебойная работа оборудования (должен подаваться сигнал о сбоях в системе).

### **7.3 Разработка функциональной схем контроля и автоматического регулирования**

Для контроля данных параметров в системе установлен следующие приборы:

- Манометр для контроля вентиляторов и загрязненности фильтра (6-1), (3-1);
- Канальный датчик температуры (9-1);
- Пожарный датчик (10-1).

С целью защиты оборудования от перегрева топочной камеры в пределах технологического процесса снижается количество сжигаемого топлива или увеличивается расход приточного воздуха.

В блоке управления и автоматизации системы предусмотрена сигнализация, которая срабатывает при возникновении аварийных ситуаций, повреждении оборудования, а также при возникновении пожара.

Газовый воздухонагреватель при повышении температуры наружного воздуха может перегреться. Это может привести к поломке и выходу из строя всей системы воздушного отопления и совмещенной с ним вентиляции. Для защиты теплогенератора от перегрева предусмотрен контроль и система автоматического регулирования, осуществляемая с помощью температурного реле.

Для бесперебойной работы системы осуществляется контроль за следующими параметрами:

- 1) Температура теплоносителя по термостату TS (4-1), (8-1);
- 2) Температура воздуха после теплообменника TE (9-1);
- 3) Контроль перепада давления до и после воздушного фильтра PDS (3-1);
- 4) Контроль перепада давления до и после вентилятора PDS (6-1).

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		



#### 7.4 Защитные функции и блокировка при авариях

В процессе работы системы могут возникнуть аварии, которые приводят к выходу системы из строя. Для избежания выхода системы из строя должна осуществляться защита воздушной системы отопления:

- Защита от засорения фильтра, которая осуществляется с помощью контроля перепада давления. Допустимое значение перепада давления устанавливается при наладке на дифференциальном датчике (3-1). Когда перепад давления превышает это значение, на щите загорается соответствующий индикатор, сообщающий о засорении фильтра.
- Защита от аварии вентилятора. Защита осуществляется с помощью температурного реле электродвигателя вентилятора (4-1). Термостат включает нагреватель, когда температура понизилась и стала меньше требуемой, и выключает, когда температура поднялась выше требуемой. При перегреве вентилятора с помощью реле отключается катушка магнитного пускателя, который включает двигатель вентилятора. При этом загорается индикатор с сигналом «авария», или включается резервный вентилятор.
- Защита от аварии горелки, осуществляемая также через температурное реле (8-1). Когда уровень температуры достигает предельного уровня, на щит управления поступает сигнал аварии. Запуск горелки осуществляется после устранения аварии.
- Противопожарная защита. В системе установлен пожарный датчик, который предусматривает сигнализацию, срабатывающую при возникновении пожара.

В системе устанавливается датчик температуры приточного воздуха, который определяет температуру воздуха в воздуховоде.

Для выпуска природного газа в случае аварии предусмотрен ручной регулирующий клапан.

#### Вывод

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Таким образом, в результате проектирования получается автоматизированная система воздушного отопления, позволяющая контролировать и автоматически изменять параметры, необходимые для эффективной работы системы. При автоматизированной работе системы сокращается доля ручного труда, устаревшее оборудование заменяется новым, а качественные характеристики выпускаемого продукта возрастают, что повышает эффективность производства.

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе были рассчитаны тепловые потери здания через наружные ограждающие конструкции (стена, окна, пол, покрытие), были определены тепловыделения и вредности, выделяющиеся в механическом цехе, а также рассчитан необходимый воздухообмен для производственного цеха. Воздухообмен был рассчитан на основе технического задания, согласно которому были известны оборудование, находящееся в цехе и вредности, выделяющиеся от него.

Разработана схема трассировки приточного и вытяжного воздуховодов, произведен аэродинамический расчет, в ходе которого были определены диаметры воздуховода на отдельных участках и потери давления на них.

В проекте подобрано соответствующее оборудование.

Для приточной системы воздушного отопления составлена схема автоматизации.

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99\* Строительная климатология»;
- 2 СанПиН 2.2.4.548-96» «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»;
- 3 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»
- 4 Краснов Ю.С., Борисоглебская А.П., Антипов А.В. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию, испытаниям, наладке, М.: Термокул, 2004г. -373с.;
- 5 ГОСТ 12.1. 005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.- М.: Издательство стандартов, 1998.- 76 с.
- 6 Новосельцев Б.П. Отопление и вентиляция основных цехов машиностроительных заводов. Учеб.-справочное пособие / Б.П. Новосельцев; Воронеж. Гос. Арх.-строит. Ун-т. – Воронеж, 2010. – 233 с.
- 7 Квашнин, И.М. Промышленные выбросы в атмосферу. Инженерные расчеты и инвентаризация / И.М. Квашнин. – М.: АВОК-ПРЕСС,2005. – 392 с.
- 8 Фиалковская, Т.А. Вентиляция при окраске изделий / Т.А. Фиалковская. – М.: Машиностроение, 1977. – 184 с.
- 9 ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
- 10 ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.
- 11 Волков, О.Д. Проектирование вентиляции промышленного здания. Учебное пособие. Х.: Высш. шк. ХГУ, 1989. -240с
- 12 Отопление и вентиляция. Учебник для вузов. В 2-х частях. Часть 2. Вентиляция / Под ред. В. Н. Богословского. - М.: Стройиздат, 1976. - 439 с.
- 13 СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 (с Изменением N 1);

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

14 ГОСТ 21.602-2016 «Система проектной документации для строительства (СПДС). Правила выполнения рабочей документации систем отопления, вентиляции и кондиционирования»

15 Волошенко А. В. Проектирование функциональных схем систем автоматического контроля и регулирования: учебное пособие/ А. В. Волошенко, Д. Б. Горбунов – Томск: Изд-во Томского политехнического

					08.03.01.2021.305-04.121 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

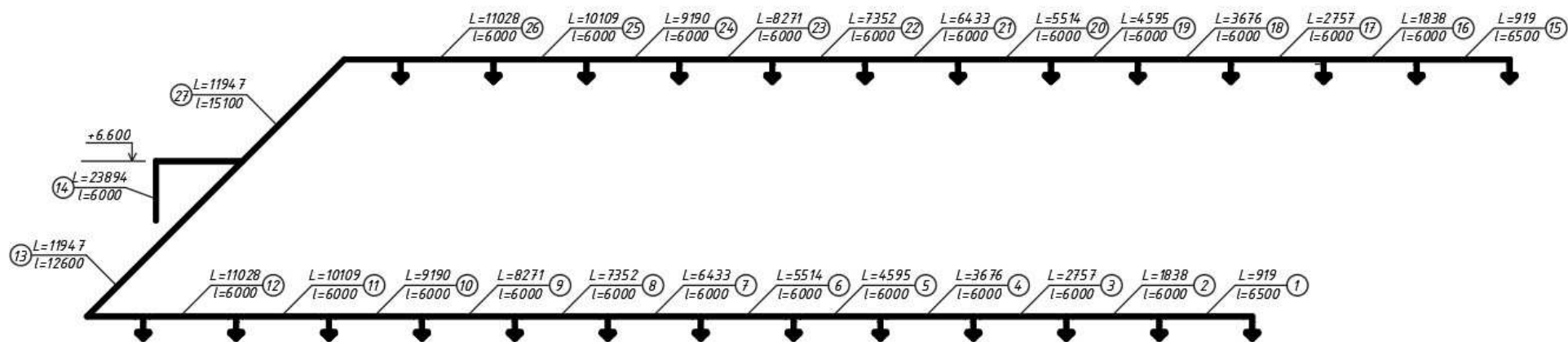
## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Теплопоступления от солнечной радиации

Таблица А.1 – Теплопоступления от солнечной радиации через наружные ограждающие конструкции

		Теплопоступления в различное время суток, Вт									
	Ориентация	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
	СЗ	970	2646	4294	5556	6815	8119	11377	38608	69295	80730
	ЮВ	88435	87139	76617	58205	36512	14194	9435	8851	6455	3678
	СВ	5084	1072	799	909	1054	1171	1200	1169	1025	643
	ЮЗ	390	718	1773	5677	9510	12790	14739	15099	13622	9552
	СЗ	2079	5669	9202	11905	14603	17398	29132	88126	152637	175056
	ЮВ	169395	170712	152717	118080	73097	26742	17222	16157	11783	6713
	ЮЗ	1559	2872	7343	24736	41760	55077	62496	62981	56105	38852
	СЗ	577	1575	2556	3307	4056	4833	6618	21919	39910	47005
	ЮВ	54086	53735	47159	35421	22270	8770	5840	5479	3996	2277
	ЮЗ	701	1292	3166	9968	16658	22647	26204	26790	24103	16822
Покрытие		98137	102099	105610	107284	106650	103799	99201	94424	87553	80624
Суммарные Q		<b>421413</b>	<b>429529</b>	<b>411236</b>	<b>381048</b>	<b>332985</b>	<b>275540</b>	<b>283464</b>	<b>379603</b>	<b>466484</b>	<b>461952</b>

ПРИЛОЖЕНИЕ Б  
Расчетная схема П1



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ

Модель	L	B	H	D	Масса
	мм				
ВТР-050	1020	1585	2162	150	420
ВТР-100	1231	1850	2464	180	700
ВТР-165	1300	2122	2800	200	900
ВТР-200	1445	2321	2800	200	1020
ВТР-300	1630	2860	3035	250	1365
ВТР-400	1681	3115	3496	250	1785
ВТР-500	1760	3590	3707	300	2150
ВТР-600	1900	3912	3741	300	2355

Рисунок В.1 – Габариты воздухонагревателей ВТР типа «СТАНДАРТ»

	ВТР-50	ВТР-100	ВТР-165	ВТР-200	ВТР-300	ВТР-400
Номинальная теплопроизводительность, кВт	50	100	165	200	300	400
Номинальная тепловая мощность, кВт	55,5	111	183	222	333	444
Рекомендуемый коэффициент регулирования тепловой мощности*						
КПД, %, не менее						
Максимальная температура воздуха на выходе из воздухонагревателя в режиме рециркуляции, °С						
Параметры, получаемые при системе управления воздухонагревателем с частотным преобразователем*						
Степень нагрева воздуха в воздухонагревателе, °С	35-50	40-50	35-50	35-50	32-50	32-50
Производительность вентилятора, м³/ч, не менее	4265-2985	7465-5970	14075-9850	17055-11940	27985-17910	37315-23880
Полный напор вентилятора, Па, не менее**	760-1000	725-850	960-1215	1050-1450	1255-2060	1085-2010
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	1,5	2,2	5,5	7,5	18,5	22

Рисунок В.2 – Технические характеристики воздухонагревателей типа «СТАНДАРТ»

Параметр	Значение
Задача подбора	Прямая
Типы вентиляторов	(КРОС, КРОВ, КРОМ)
Высота расположения	12.6
Температура среды	-34
Выброс в сеть	Да
Сопrotивление сети	100
Расход	2985
Погрешность подбора	20

Рисунок В.3 – Ввод данных для подбора вентиляторов в программе «ВЕЗА»



## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Аэродинамический расчет приточной системы

Таблица Г.1 – Аэродинамический расчет системы П1

N участка	L, м <sup>3</sup> /ч	l, м	d, мм	a, мм	b, мм	dэ, мм	F, м <sup>2</sup>	v, м/с	R, Па/м	βш	R*βш*l	Сум ζ.	Rд, Па	Z, Па	P, Па	Сум P, Па	Характеристика местных сопротивлений
Основное направление 1-14																	
1	919	7	250			250	0.049	5.201	1.33	1	9.3	2.90	16.2	47.1	56	56	Воздухораспределитель z=2,2; Тройник на нагнетание на проход z=0,35; Отвод круглого сечения под 90 (1 шт) z=0,35
2	1838	6	355			355	0.099	5.158	0.85	1	5.1	0.55	16.0	8.8	14	70	Внезапное расширение z=0,25; Тройник на нагнетание на проход z=0,3
3	2757	6	400			400	0.126	6.094	0.99	1	6.0	0.22	22.3	4.9	11	81	Внезапное расширение z=0,04; Тройник на нагнетание на проход z=0,18
4	3676	6	450			450	0.159	6.421	0.94	1	5.7	0.29	24.7	7.2	13	94	Внезапное расширение z=0,04; Тройник на нагнетание на проход z=0,25
5	4595	6	500			500	0.196	6.501	0.85	1	5.1	0.24	25.4	6.1	11	105	Внезапное расширение z=0,04; Тройник на нагнетание на проход z=0,2

Продолжение таблицы Г.1

N участка	L, мЗ/ч	l, м	d, мм	a, мм	b, мм	dэ, мм	F, м2	v, м/с	R, Па/м	$\beta_{ш}$	$R*\beta_{ш}*l$	Сум $\zeta$ .	Rд, Па	Z, Па	P, Па	Сум P, Па	Характеристика местных сопротивлений
7	6433	6	560			560	0.246	7.255	0.90	1	5.4	0.15	31.6	4.7	10	126	Тройник на нагнетание на проход z=0,15
8	7352	6	600			600	0.283	7.223	0.82	1	4.9	0.23	31.3	7.2	12	138	Внезапное расширение z=0,03; Тройник на нагнетание на проход z=0,2
9	8271	6	600			600	0.283	8.126	1.02	1	6.1	0.15	39.6	5.9	12	150	Тройник на нагнетание на проход z=0,15
10	9190	6	600			600	0.283	9.029	1.24	1	7.4	0.15	48.9	7.3	15	165	Тройник на нагнетание на проход z=0,15
11	10109	6	630			630	0.312	9.008	1.16	1	7.0	0.22	48.7	10.7	18	183	Внезапное расширение z=0,02; Тройник на нагнетание на проход z=0,2
12	11028	6	630			630	0.312	9.827	1.36	1	8.2	0.15	57.9	8.7	17	200	Тройник на нагнетание на проход z=0,15
13	11947	12.6	630			630	0.312	10.646	1.59	1	20.0	1.10	68.0	74.8	95	294	Тройник на нагнетание на ответвление z=0,75; Отвод круглого сечения под 90 (1 шт) z=0,35
14	23894	4.6	900			900	0.636	10.433	0.98	1	4.5	0.33	65.3	21.6	26	320	Отвод круглого сечения под 90 (1 шт) z=0,33

Продолжение таблицы Г.1

N участка	L, м <sup>3</sup> /ч	l, м	d, мм	a, мм	b, мм	dэ, мм	F, м <sup>2</sup>	v, м/с	R, Па/м	$\beta_{ш}$	$R*\beta_{ш}*l$	Сум $\zeta$ .	Pд, Па	Z, Па	P, Па	Сум P, Па	Характеристика местный сопротивлений
Ответвление 27-14																	
1	919	7	250			250	0.049	5.201	1.33	1	9.3	2.90	16.2	47.1	56	56	Воздухораспределитель z=2,2; Тройник на нагнетание на проход z=0,35; Отвод круглого сечения под 90 (1 шт) z=0,35
2	1838	6	355			355	0.099	5.158	0.85	1	5.1	0.55	16.0	8.8	14	70	Внезапное расширение z=0,25; Тройник на нагнетание на проход z=0,3
3	2757	6	400			400	0.126	6.094	0.99	1	6.0	0.22	22.3	4.9	11	81	Внезапное расширение z=0,04; Тройник на нагнетание на проход z=0,18
4	3676	6	450			450	0.159	6.421	0.94	1	5.7	0.29	24.7	7.2	13	94	Внезапное расширение z=0,04; Тройник на нагнетание на проход z=0,25
5	4595	6	500			500	0.196	6.501	0.85	1	5.1	0.24	25.4	6.1	11	105	Внезапное расширение z=0,04; Тройник на нагнетание на проход z=0,2
6	5514	6	560			560	0.246	6.219	0.68	1	4.1	0.29	23.2	6.7	11	116	Внезапное расширение z=0,04; Тройник на нагнетание на проход z=0,25

## Окончание таблицы Г.1

N участка	L, мЗ/ч	l, м	d, мм	a, мм	b, мм	dэ, мм	F, м2	v, м/с	R, Па/м	$\beta_{ш}$	$R*\beta_{ш}*l$	Сум $\zeta$ .	Rд, Па	Z, Па	P, Па	Сум P, Па	Характеристика местный сопротивлений
7	6433	6	560			560	0.246	7.255	0.90	1	5.4	0.15	31.6	4.7	10	126	Тройник на нагнетание на проход z=0,15
8	7352	6	600			600	0.283	7.223	0.82	1	4.9	0.23	31.3	7.2	12	138	Внезапное расширение z=0,03; Тройник на нагнетание на проход z=0,2
9	8271	6	600			600	0.283	8.126	1.02	1	6.1	0.15	39.6	5.9	12	150	Тройник на нагнетание на проход z=0,15
10	9190	6	600			600	0.283	9.029	1.24	1	7.4	0.15	48.9	7.3	15	165	Тройник на нагнетание на проход z=0,15
11	10109	6	630			630	0.312	9.008	1.16	1	7.0	0.22	48.7	10.7	18	183	Внезапное расширение z=0,02; Тройник на нагнетание на проход z=0,2
12	11028	6	630			630	0.312	9.827	1.36	1	8.2	0.15	57.9	8.7	17	200	Тройник на нагнетание на проход z=0,15
13	11947	15.1	630			630	0.312	10.646	1.59	1	23.9	1.10	68.0	74.8	99	298	Тройник на нагнетание на ответвление z=0,75; Отвод круглого сечения под 90 (1 шт) z=0,35