

## Расчет электрокалориферной установки.

### Содержание

1. Исходные данные _____	3
2. Тепловой расчет _____	4
3. Конструктивный расчет _____	6
4. Схема принципиальная электрическая электрокалорифера. Устройство и принцип работы _____	8
5. Выбор ПЗА и расчет внутренних силовых сетей _____	9

Исходные данные: Вариант 25

Мощность  $P_H = 4 \cdot 10^4$  Вт

Скорость воздуха  $v = 6 \frac{м}{с}$

Расход воздуха  $L = 1.4 \frac{м^3}{с}$

Компоновка ТЭНов: коридорная

В калорифер установим  $z = 18$  ТЭНов

Число рядов  $n = 3$

Количество ТЭНов в ряду  $k = \frac{z}{n} = \frac{18}{3} = 6$

Мощность одного ТЭНа  $P_m = \frac{P_H}{z} = \frac{40000}{18} = 2222.0$

Выберем ТЭН 200Д 13/2.5 К 220

Длина  $l = 2$  м

Диаметр трубки  $d = 13$  мм

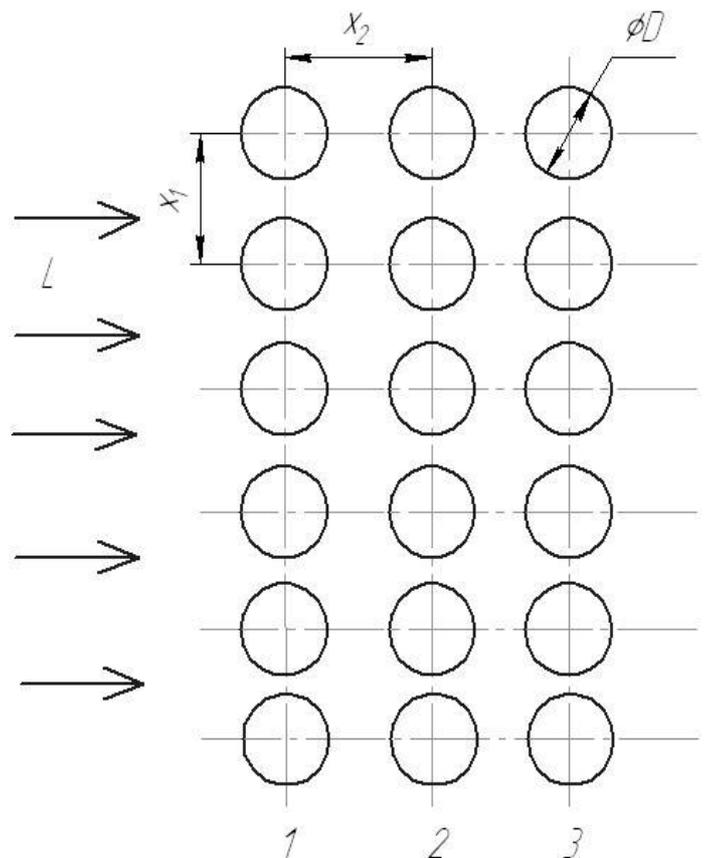


Схема компоновки блока ТЭНов

## 2. Тепловой расчет

2.1 Рассчитываем коэффициент теплоотдачи ТЭНа.

Критерий Рейнольдса

$$Re = \frac{v \times d}{\nu}$$

где  $\nu = 18.5 \times 10^{-6} \frac{m^2}{c}$  - коэффициент кинематической вязкости воздуха

Тогда

$$Re = \frac{v \times d \times 10^{-3}}{\nu} = \frac{6 \times 3 \times 10^{-3}}{18.5 \times 10^{-6}} = 4216.0$$

2.2 Критерий Нуссельта для данной компоновки ТЭНов:

$$Nu = 0.149 \times Re^{0.65}$$

Тогда

$$Nu = 0.149 \times 4216.0^{0.65} = 33.835$$

2.3 Коэффициент теплоотдачи ТЭНа

$$\alpha = \frac{Nu \times \lambda}{d}$$

где  $\lambda = 0.027 \frac{Вт}{m \times C}$

Тогда

$$\alpha = \frac{Nu \times \lambda}{d \times 10^{-3}} = \frac{33.8 \times 0.027}{13 \times 10^{-3}} = 70.2 \frac{Вт}{m \times C}$$

2.4 Средний коэффициент теплоотдачи для заданной компоновки

$$\alpha_{ср} = \frac{\alpha \times (n - 0.5)}{n}$$

где  $n = 3$  - число рядов.

Тогда

$$\alpha_{ср} = \frac{70.2 \times (3 - 0.5)}{3} = 58.5$$

2.5 Суммарная мощность первого ряда ТЭНов

$$P_{m1} = k \times P_m = 6 \times 2222.0 = 13332.0 \text{ Вт}$$

## 2.6 Площадь поверхности одного ТЭНа с учетом оребрения.

$$F_m = \pi d \times 10^{-3} + \frac{h_p \times d \times 10^{-3} + h_p \times \pi d}{a}$$

где  $a = 0.005$  м - шаг оребрения;

$h_p = 0.012$  м - высота ребра.

Тогда

$$F_m = \pi d \times 10^{-3} + \frac{h_p \times d \times 10^{-3} + h_p \times \pi d}{a} = \pi \times 2 \times 13 \times 10^{-3} + \frac{0.012 \times (13 \times 10^{-3} + 0.012) \times \pi}{0.005}$$

$$F_m = 0.459 \text{ м}^2$$

## 2.7 Суммарная площадь первого ряда ТЭНов

$$F_{m1} = k \times F_m = 6 \times 0.459 = 2.75 \text{ м}^2$$

## 2.8 Температура воздушного потока после калорифера

$$t_B = \frac{P_{m \times z}}{\rho \times c_B \times L}$$

где  $\rho = 1.1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  - плотность воздуха;

$c_B = 1 \times 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{°C}}$  - удельная теплоемкость воздуха.

Тогда

$$t_B = \frac{P_{m \times z}}{\rho \times c_B \times L} = \frac{2222.0 \times 18}{1.1 \times 10^3 \times 1.4} = 26.0 \text{ °C}$$

## 2.9 Температура ТЭНов первого ряда

$$t_{H1} = \frac{P_{m1}}{0.6 \times \alpha_{cp} \times F_{m1}} = \frac{13332.0}{0.6 \times 8.5 \times 2.75} = 138.0 \text{ °C}$$

что соответствует норме

### 3. Конструктивный расчет.

#### 3.1 Живое сечение блока нагревателей

$$F_k = \frac{L}{v} = \frac{1.4}{6} = 0.233 \text{ м}^2$$

#### 3.2 Расстояние между нагревателями в ряду:

$$x_1 = \frac{F_k}{(k+1) \times \lambda} + D$$

где  $D = 2 \times \lambda_p + d \times 10^{-3} = 2 \times 0.012 + 13 \times 10^{-3} = 0.037$  м, - диаметр выбранного ТЭНа с ребрением.

Тогда

$$x_1 = \frac{F_k}{(k+1) \times \lambda} + D = \frac{0.233}{(6+1) \times 2} + 0.037 = 0.0536 \text{ м}$$

#### 3.3 Расстояние между рядами нагревателей

$$\frac{3}{2} \times D = \frac{3}{2} \times 0.037 = 0.055 \text{ м}$$

Тогда

$$x_2 = 1.2 \times x_1 = 0.0643 \text{ м}$$

#### 3.4 Высота Н и ширина В блока нагревателей

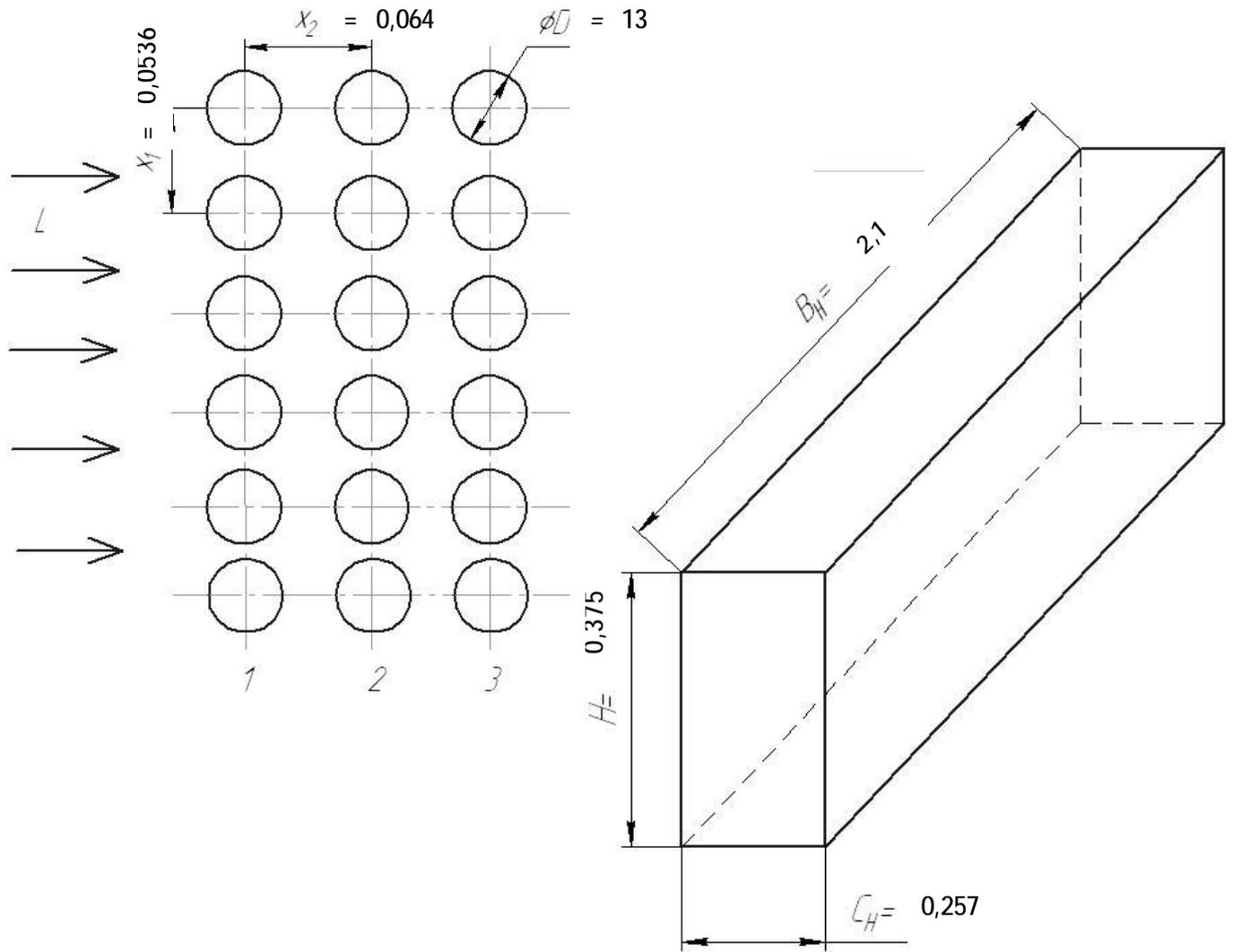
$$H = (k+1) \times x_1 = (6+1) \times 0.0536 = 0.375 \text{ м}$$

$$B_H = 1 + 0.1 = 2 + 0.1 = 2.1 \text{ м}$$

#### 3.5 Глубина блока нагревателей:

$$C_H = (n+1) \times x_2 = (3+1) \times 0.0643 = 0.257 \text{ м}$$

С учетом полученных данных схема компоновки блока ТЭНов имеет вид:



#### 4. Схема принципиальная электрическая электрокалорифера.

Схема электрокалорифера состоит из двух частей: силовой и управления.

В силовой части: QF1 автоматический выключатель ввода; QF2-QF5 автоматические выключатели отходящих линий (блоки электронагревателей и электродвигатель вентилятора); КМ1:1-КМ4:1 силовые контактные группы магнитных пускателей КМ1-КМ4; КК1 реле тепловое защиты электродвигателя, ЕК1-ЕК3 блоки электронагревателей; М1 электродвигатель вентилятора.

В части управления: QF6 автоматический выключатель защиты схемы управления; НЛ1-НЛ5 арматура светосигнальная (светодиодная) для индикации работы электрокалорифера; КМ1-КМ4 магнитные пускатели управления блоками электронагревателей и электродвигателя; SB1, SB2 кнопки управления; ВК1, ВК2, ВК3 терморегуляторы (ВК1:1-ВК3:1 контактные группы); КМ1:2- самоподхват катушки реле после включения; КМ1:3-КМ1:4 дополнительная контактная группа пускателя КМ1; КМ2:2-КМ4:2 дополнительные контактные группы магнитных пускателей КМ1-КМ4(включение светодиодных ламп); SA1, SA2 пакетные переключатели (для управления электрокалорифером).

Работа схемы. Для подачи питания необходимо включить автоматический выключатель ввода QF1; для того, чтобы работали блоки электронагревателей и электродвигатель необходимо включить автоматические выключатели QF2-QF5; для того, чтобы работала схема управления электрокалорифером необходимо включить автоматический выключатель QF6. При выполнении вышеперечисленных манипуляций на щите управления загорится НЛ1 «Сеть». Схема управления построена так, что без включения электродвигателя вентилятора невозможно включить блоки электронагревателей (дополнительная контактная группа КМ1:4), также для защиты от перегрева служит терморегулятор ВК1 (дополнительный контакт ВК1:1 при перегреве размыкается, что приводит к отключению блоков электронагревателей). Для запуска электродвигателя вентилятора необходимо нажать на кнопку SB2, произойдет запуск электродвигателя (при несработавшем тепловой реле КК1) и загорится НЛ2 «Вентилятор». После запуска электродвигателя возможно включения блоков электронагревателей, для этого необходимо перевести пакетный выключатель SA1 в положение «ручное управление» или «автоматическое управление». В ручном режиме пакетным выключателем SA2 необходимо настроить мощность электрокалорифера путем переключения ступеней (0, 1/3, 2/3, 1). При включении ступени «1» пакетным выключателем SA1, включатся магнитные пускатели КМ2-КМ4 и соответственно сработают их контактные группы КМ2:1-КМ4:2 и включатся блоки электронагревателей ЕК1-ЕК3, НЛ3-НЛ5 будут индцировать включенное состояние ступеней 1, 2 и 3 соответственно. При включении автоматического режима, первоначально включатся КМ2-КМ4 и соответственно ЕК1-ЕК3, далее система будет работать в зависимости от того, как настроены терморегуляторы ВК2 и ВК3, то есть, например, если терморегулятор ВК2 установлен на 150°С, то при достижении этой температуры терморегулятор сработает и ВК2:1 разомкнется, что приведет к отключению КМ2 и соответственно к отключению ЕК1. Терморегуляторы ВК1 ВК3 работают аналогично. Для стабильной и надежной работы электрокалорифера уставки ВК1, ВК2 и ВК3 должны иметь селективность.

## 5. Выбор ПЗА и расчет внутренних силовых сетей.

5.1 Согласно ПУЭ первичная цепь каждой электроотермической установки должна содержать следующие коммутационные и защитные аппараты: выключатель (рубильник с дугогасящими контактами, пакетный выключатель) на вводе и предохранители или блок предохранитель-выключатель либо автоматический выключатель с электромагнитным и тепловыми расцепителями. Так как для защиты цепей блоков электронагревателей, электродвигателя и цепи управления выбраны автоматические выключатели, они должны иметь электромагнитный и тепловой расцепители. Этим условиям удовлетворяют автоматические выключатели серии ВА57-35 и ВА47-63 с уставкой электромагнитного расцепителя

Так как можно считать, что электронагреватели это чисто активная нагрузка, то определим ток потребляющий электрокалорифер при полной нагрузке (примем мощность электродвигателя вентилятора 1,1 кВт 1500 об/мин  $\cos \varphi = 0,85$ ) :

5.2 Расчетный ток магистральных линий определяют по выражению

$$I_H = I_{\text{эл.дв}} + \frac{P_H}{U_{\text{л}}} = \frac{P_{\text{эл.дв}}}{U_{\text{л}} \times \cos \varphi} + \frac{P_H}{U_{\text{л}}}$$

где  $P_H = 4 \cdot 10^4$  кВт - активная мощность ТЭНов;

$U_{\text{л}} = 380$  В - линейное напряжение сети;

$P_{\text{эл.дв}} = 1.1 \times 10^3$  кВт - активная мощность электродвигателя вентилятора;

$\cos \varphi = 0.85$  - коэффициент активной мощности электродвигателя.

Тогда

$$I_H = \frac{P_{\text{эл.дв}}}{U_{\text{л}} \times \cos \varphi} + \frac{P_H}{U_{\text{л}}} = \frac{1.1 \times 10^3}{380 \times 0.85} + \frac{40000}{380} = 108.7 \text{ А}$$

5.3 Автоматические выключатели выбирают по условиям:

$$U_{\text{н.а}} \geq U_{\text{н.уст}} \quad I_{\text{н.а}} \geq I_{\text{н.уст}}$$

$$I_{\text{н.т}} \geq k_{\text{н.т}} \times I_{\text{н.уст}} \quad \text{- по тепловому расцепителю}$$

$$I_{\text{н.э}} \geq k_{\text{н.э}} \times I_{\text{макс}} \quad \text{- по электромагнитному расцепителю}$$

### Автоматические выключатели

Выбираем на вход автоматический выключатель ВА-5735 с номиналом по току  $I_a = 125$  А

Выбираем автоматические выключатели QF2-QF4 с номиналом тока  $I_T = 40$  А

Выключатели автоматы на блок управления и на включение электродвигателя QF5 и QF6 - ВА47-63 6А

## Магнитные пускатели

Магнитные пускатели КМ2-КМ4 ПМЛ 3100 (до 40А)

Магнитный пускатель КМ1 ПМЛ 1100 (до 10 А) + Реле тепловое РТЛ 1006

## Аппаратура

Световая индикация - арматура светосигнальная АД-22DS

Кнопки управления SB1 - KE131 , SB2 - KE181

Пакетные выключатели SA1 - ПМОФ45-111225/Д2

SA2 - ПМОФ45-112266/Д3

Терморегуляторы на каждую секцию подбираются в зависимости от условий работы

5.5 По принятому значению номинального тока срабатывания расцепителя автоматического выключателя находим допустимый ток проводника  $I_{доп}$  по условию согласования с защитой.

Согласно ПУЭ значение  $I_{доп}$  определяют по следующим условиям: для проводников с резиновой и подобной ей по тепловым характеристикам изоляцией ( $t_{доп} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$ ), прокладываемых в пожароопасных и взрывоопасных помещениях, защищаемых плавкими вставками предохранителей или мгновенно действующими электромагнитными расцепителями автоматов:

$$I_{доп} \geq 1.25 I_{Н.Э} \quad \text{или} \quad I_{доп} \geq 1.25 I_{В}$$

для проводников всех марок при защите их автоматами с расцепителями, имеющими обратную зависимость от тока характеристику:

$$I_{доп} \geq I_{Н.Т}$$

для ответвлений к электродвигателям в невзрывоопасных помещениях:

$$I_{доп} \geq I_{Н.дв}$$

По этим условиям выберем кабели:

Питающий кабель (ввод в щит управления) ВВГнг 4х35

Кабели питания ЕК1-ЕК3 ПРКС 4х6 (термостойкий до +1800С)

Кабель питания М1 - ВВГнг 4х1,5

Монтажный провод:

силовые цепи ПВ1х10

цепи управления ПВ1х1,5

5.6 Выбранный провод проверяют по допустимой потере напряжения. Согласно ПУЭ потери напряжения в силовых проводках не должна превышать 5%. Расчетные потери напряжения без учета индуктивного сопротивления при условии, что нагрузка равномерно распределена по фазам и на всех участках проложен одинаковый провод, определяют по формуле:

$$\Delta U = \frac{P \lambda}{c s}$$

где  $P$  - присоединенная мощность, кВт;

$l$  - длина линии, м;

$c$  - постоянный для данного провода коэффициент, зависящий от напряжения сети, числа фаз и материала провода (по таблица 1.1  $c=77$ );

$s$  - сечение провода, мм<sup>2</sup>.

Определим  $\Delta U$  для:

питающего кабеля 
$$\Delta U_{\text{пит}} = \frac{P_{\text{H}} \lambda_{\text{п}}}{c s_{\text{п}}} = \frac{40 \times 15}{77 \times 35} = 0.2226 \quad \%$$

кабеля питания ЕК1-ЕК3 
$$\Delta U_{\text{ЕК}} = \frac{P_{\text{T}} \lambda_{\text{T}}}{c s_{\text{T}}} = \frac{13.33 \times 8}{77 \times 6} = 0.2308 \quad \%$$

кабеля питания электродвигателя 
$$\Delta U_{\text{д}} = \frac{P_{\text{д}} \lambda_{\text{д}}}{s_{\text{д}} c} = \frac{1.1 \times 8}{1.5 \times 77} = 0.07619 \quad \%$$

Условие по потере напряжения выполняется