

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Электронного обучения

Специальность промышленная теплоэнергетика

Кафедра теоретической и промышленной теплотехники

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ (РАБОТА)

Тема работы
РЕКОНСТРУКЦИЯ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ В Г. САРАТОВ

УДК 621.51-048.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-6502	Шкурко С.В.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Крайнов А.В.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Фигурко А.А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Сечин А.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
теоретической и промышленной теплотехники	Кузнецов Г.В.	профессор, д.ф.-м.н.		

Томск – 2016

Реферат

Выпускная квалификационная работа 64 страниц, 9 рисунков, 17 таблиц, 12 использованный источник.

Ключевые слова: влагомаслоотделитель, теплоутилизатор, фильтр, компрессор, воздухоохладитель, воздуховод, ресивер.

Объектом исследования является воздушная компрессорная станция с установленной производительностью по воздуху $1500 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Цель работы - разработка схемы ВКС с утилизатором теплоты сжатого воздуха.

В процессе исследования проводились изменения технологической схемы с установкой теплоутилизатора сжатого воздуха после компрессора.

В результате исследования составлена технологическая схема компрессорной с теплоутилизатором; выбрано основное оборудование компрессорной станции: холодильник, ресивер, маслоохладитель, сепаратор влаги и масла, выполнено технико-экономическое обоснование.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: производительность по воздуху – $320 \text{ млн. м}^3/\text{год}$; давление нагнетания - $0,8 \text{ МПа}$, - инвестиции в реконструкцию - 1900 тыс. руб. , - срок окупаемости инвестиций - $2,8 \text{ года}$.

Степень внедрения: разработанная схема ВКС может быть реализована на любом промышленном предприятии для автономного снабжения горячей водой.

Область применения: воздушная компрессорная станция.

Экономическая эффективность/значимость работы - экономия на приобретении тепловой энергии за счет утилизации теплоты компремированного воздуха.

В будущем планируется внедрение данной схемы ВКС в производство.

Abstract

Explanatory Note contains 64 pages, 9 figures, 12 sources used.

Keywords: oil separator, air-cooler, air duct, filter, compressor, cooling-towers, receiver.

The object of development: is an air compressor station with an installed capacity of 1500 m³/min.

Objective: development schemes VKS with the utilizing the heat of the compressed air

The study carried out changes in the technological scheme of the installation of heat recovery Compressed air after the compressor.

The study compiled flowsheet compressor with heat recovery; selected major compressor station equipment: fridge, receiver, oil cooler, oil and water separator, performed a feasibility study.

The basic constructive, technological and technical and operational characteristics: air capacity - 320 million m³ / year; discharge pressure - 0.8 MPa, - investment in reconstruction - 1900 thousand rubles, -.. payback period - 2.8 years.

Degree of implementation: developed by VKS scheme can be implemented in any industrial undertaking for the autonomous supply of hot water.

Scope: air compressor station.

Cost-effectiveness / value of the work - the savings on the purchase of thermal energy by utilizing heat, compressed air.

In the future, the introduction of this scheme VKS in production.

Содержание

Введение.....	5
1. Объект и методы исследования.....	6
2. Расчеты работоспособности оборудования компрессорной.....	7
2.1 Выбор числа и типа компрессоров.....	7
2.2 График суточной нагрузки ВКС.....	9
2.3 Расчет и выбор фильтра воздушного.....	11
2.4 Расчет и выбор влагомаслоотделителя.....	12
2.5 Расчет и выбор ресивера.....	12
2.6 Расчет и выбор маслоохладителя.....	13
2.7 Расчет холодильника сжимаемого воздуха.....	18
2.8 Расчет утилизатора теплоты	25
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	30
4. Социальная ответственность.....	44
Заключение.....	62
Список использованных источников.....	63

Введение

В различных отраслях промышленности широко применяется сжатый воздух для многих технологий, работы пневмоинструмента, пневмотранспорта для обеспечения работы систем КИП и автоматики.

Как вторичный энергоноситель сжатый воздух характеризуется: дешевизной, свободной доступностью, безвредностью и безопасностью.

Однако, требуется значительный расход электроэнергии на выработку компримированного воздуха (доходит до 30% от всего потребления предприятием).

Поэтому актуальна задача экономии потребляемой электроэнергии при работе ВКС.

Так как компримированный воздух после каждой ступени сжатия нагревается до 100...150 °С, то это указывает на большой потенциал энергосбережения по тепловой энергии, которая в настоящее время теряется с охлаждающей водой.

Спецвопрос данного проекта - разработка схемы и аппарата для использования тепла воздуха на выходе из компрессора для нагрева воды.

Эффективность эксплуатации ВКС определяется экономией на приобретении тепловой энергии за счет утилизации теплоты компримированного воздуха.

1. Объект и методы исследования

Компрессорная станция вырабатывает сжатый воздух 0,7 МПа для пневмоприемников завода технического стекла давлением.

Пневмопотребители – технологические операции, обдув ванн печей, пневмотранспорт, пневмоинструменты, приборы контрольно-измерительные, приборы автоматики

Состав компрессорной - 5 рабочих компрессоров центробежного типа К-250-62-5. Один компрессор постоянно пребывает в резерве.

Основные параметры компрессорной:

- установленная мощность по выработке воздуха $Q = 1500 \text{ м}^3/\text{мин}$
- расчетная нагрузка на ВКС $Q_{\text{мд}} = 1250 \text{ м}^3/\text{мин}$
- давление воздуха (по манометру) 0,7...0,8 МПа
- мощность электродвигателя компрессора $N_{\text{дв}} = 1600 \text{ кВт}$
- потребление охлаждающей воды $G = 111 \text{ кг/с}$.

2 Расчеты работоспособности оборудования компрессорной

Компрессорная станция вырабатывает сжатый воздух 0,7 МПа для пневмоприемников завода технического стекла давлением.

Пневмопотребители – технологические операции, обдув ванн печей, пневмотранспорт, пневмоинструменты, приборы контрольно-измерительные, приборы автоматики

Состав компрессорной - 5 рабочих компрессоров центробежного типа К-250-62-5. Один компрессор постоянно пребывает в резерве.

Основные параметры компрессорной:

- установленная мощность по выработке воздуха $Q = 1500 \text{ м}^3/\text{мин}$
- расчетная нагрузка на ВКС $Q_{\text{мд}} = 1250 \text{ м}^3/\text{мин}$
- давление воздуха (по манометру) 0,7...0,8 МПа
- мощность электродвигателя компрессора $N_{\text{дв}} = 1600 \text{ кВт}$
- потребление охлаждающей воды $G = 111 \text{ кг/с}$.

2.1. Выбор числа и типа компрессоров

Таблица 2.1 – Варианты комплектования компрессорами

Показатели	Единица измерен.	Возможный вариант			
		1	2	3	4
Длительная нагрузка на ВКС:	$\text{м}^3/\text{мин}$				
I смена		1230	1230	1230	1230
II смена		980	980	980	980
Производительность компрессора:	$\text{м}^3/\text{мин}$				
Д		250	160	500	130
Е		-	100	250	50
Количество компрессоров	шт.				
Д		6	8	3	8
Е		-	2	1	3
Установленная производительность ВКС	$\text{м}^3/\text{мин}$	1500	1480	1750	1200
Обеспеченность длительной нагрузки	%	$\frac{1500 - 250}{1350} \times 100 = 100$	$\frac{1480 - 160}{1250} \times 100 = 105$	$\frac{1750 - 500}{1250} \times 100 = 100$	$\frac{1200 - 130}{1250} \times 100 = 86$
Работа компрессоров для второй смены	%	$\frac{1000}{250 \cdot 4} \times 100 = 100$	$\frac{1000}{5 \cdot 160 + 2 \cdot 100} \times 100 = 100$	$\frac{1000}{2 \cdot 500} \times 100 = 100$	$\frac{1000}{8 \cdot 130} \times 100 = 0,96$

Первый вариант самый приемлемый - обеспечивает 100% нагрузки в первую смену. Здесь приняты компрессоры однотипные при небольшом количестве, что дает низкие капиталовложения и упрощает ремонты.

Определение количества компрессоров

При требуемом резерве - 100% устанавливаем компрессоров (m) [1]

$$m = \frac{Q_{\text{мд}}}{Q_k} \quad (2.1)$$

где $Q_{\text{мд}}$ - максимальная длительная нагрузка станции, м³/мин.

Q_k - подача одновременно работающих компрессоров, м³/мин.

$$m = \frac{1250}{250} + 1 \text{ штук.}$$

При выходе из строя одного компрессора, другие покроют 100% потребления сжатого воздуха.

Выбор типа компрессоров

Для покрытия нагрузки 1230 м³/мин устанавливаем 6 компрессоров типа К-250-62-5.

Часть сжатого воздуха (23%) осушается на блочной установке УОВ.

Таблица 2.2 Техническая характеристика компрессора

<u>Наименование</u>	<u>Величина</u>
Производительность по всасу, $\text{м}^3/\text{с}$	4,17
Давление нагнетания (абсолютное), МПа	0,7...0,80
Температура воздуха на выходе из холодильника, $^{\circ}\text{C}$	40 ...42
Частота вращения вала компрессора, $\text{об}/\text{мин}$	10930
Мощность рабочая, кВт	1470
Тип электродвигателя	СТД-1600-23УХЛЧ
Масса электродвигателя с опорами, кг	3200
Частота вращения ротора электродвигателя, $\text{об}/\text{мин}$	2980
Мощность электродвигателя, кВт	1600
Расход воды на эл/двигатель, $\text{м}^3/\text{ч}$	7,45
Расход воды на I охладитель, $\text{м}^3/\text{ч}$	13,3
Расход воды на II охладитель, $\text{м}^3/\text{ч}$	16,2
Расход воды на концевой охладитель, $\text{м}^3/\text{ч}$	15,1
Расход воды на охладитель масла, $\text{м}^3/\text{ч}$	14
Емкость маслосистемы, м^3	3
Габариты агрегата, м:	
Длина	9,24
Ширина	4,62
Высота	5,04

2.2 График суточной нагрузки ВКС

Суточная нагрузка компрессорной показывается на графике потребления воздуха (рис. 2.1).

Здесь показана степень использования компрессоров в конкретные промежутки времени.

Главные потребители воздуха: на технологические нужды, пневмотранспорт, пневмоинструменты и пневмоприемники.

Осушенная часть воздуха до (-30°C) используется в приборах КИП и автоматики.

Установленная мощность - 6 компрессоров по $250 \text{ м}^3/\text{мин}$ каждый.

Во вторую смену потребляется воздуха 76% от 1-й смены. В I-ую смену работает 5 компрессоров, во II-ую смену - 4 шт. Пиковые нагрузки обеспечиваются расходом воздуха из ресиверов и системы воздухопроводов.

Неравномерность потребление воздуха проявляется под утро (снижается нагрузка и имеются утечки в сети и у пневмопотребителей). В это время используется объем воздухопроводов и ресиверов.

По графику нагрузки судят о экономичности работы компрессорной. Остановки и запуски компрессоров при изменении нагрузки станции приводят к увеличению потребления электроэнергии и потерям воздуха с продувкой.

В нашем случае можно рекомендовать частотное регулирование производительности компрессоров.

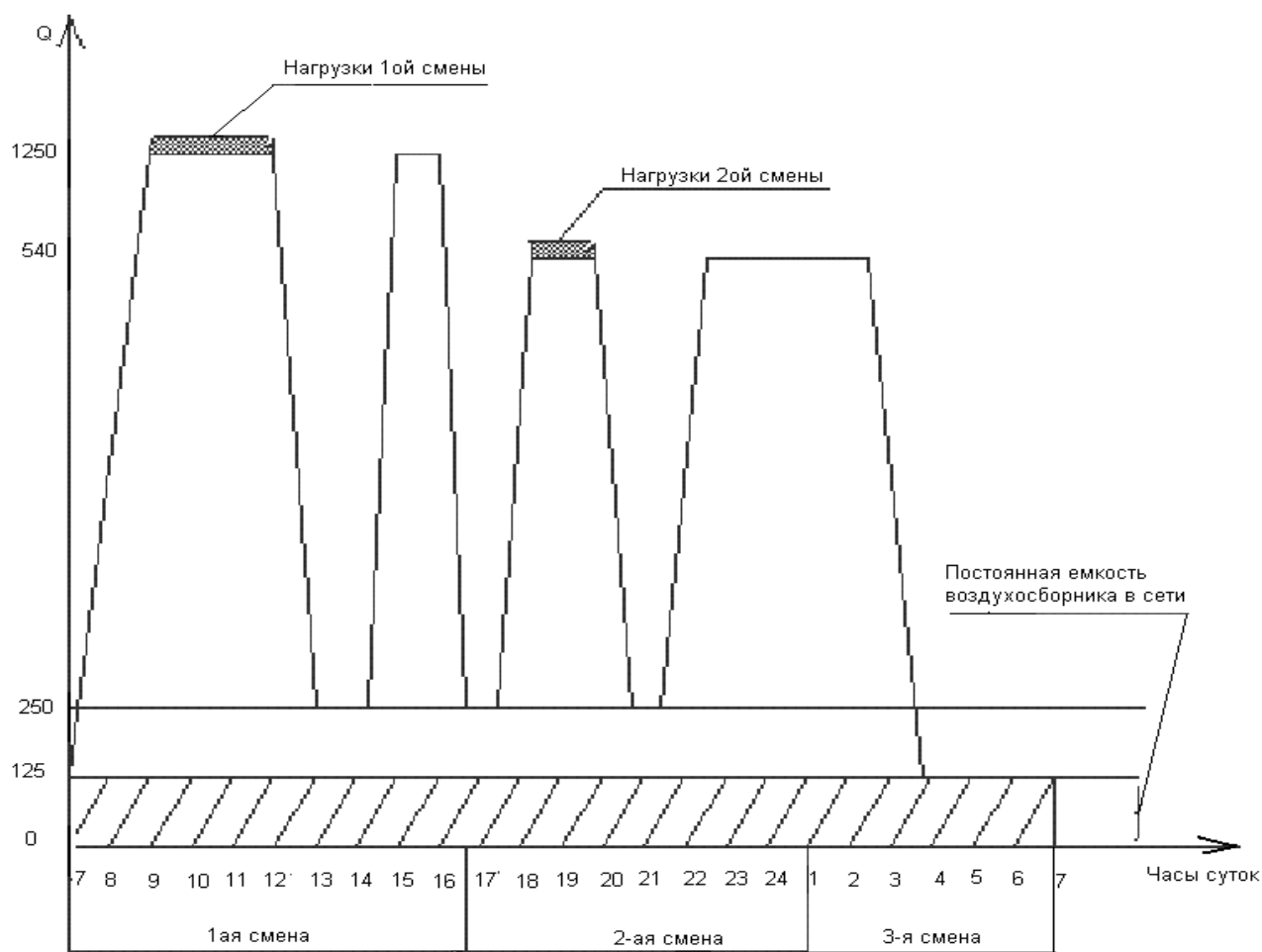


Рисунок 2.1 – График суточной нагрузки ВКС

2.3 Расчет и выбор фильтра воздушного

Засасываемый наружный воздух очищается от пыли и механических примесей в воздушных фильтрах. В кожухе фильтра установлены кассеты с металлическими или фарфоровыми кольцами, смоченными маслом. Так же в кассетах размещают ряд замасленных стальных сеток. Загрязнения прилипают к поверхности сеток при прохождении воздуха.

Периодически сетки вынимают для промывки специальным щелочным раствором.

Поверхность фильтра [1]

$$F_{\phi} = \frac{V}{K_{\phi}}, \text{ м}^2 \quad (2.2)$$

где V – количество очищаемого воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$,

K_{ϕ} - нагрузка фильтра на 1 м^2 , $(\text{м}^3/\text{с})/\text{м}^2$ [1]

Принимаем [1] $K_{\phi} = 0,65 (\text{м}^3/\text{с})/\text{м}^2$

$$F_{\phi} = \frac{4,17}{0,65} = 6,4 \text{ м}^2$$

По найденной поверхности фильтра принимаем число ячеек.

Таблица 2.3 - Характеристика ячейковых масляных фильтров

Производи- тельность		Поверхность фильтра, м ²	Количество ячеек, шт.	Действитель- ная нагрузка на фильтр (м ³ /с)/м ²	Максималь- ная пропускная способность м ³ /с
м ³ /с	м ³ /мин				
4,18	250	6,5	27	0,66	8,4

2.4 Расчет и выбор влагомаслоотделителя

Воздух за компрессором очищается от масла и воды в масловодоотделителе. При работе центробежных компрессоров присутствие масла в воздухе практически не наблюдается.

Влагомаслоотделитель устанавливают за конечным холодильником. Здесь для отделения влаги и масла используется центробежный эффект.

Объем влагомаслоотделителя [1]

$$V_{\text{км}} = \alpha \sqrt{V_0}, \text{ м}^3 \quad (2.3)$$

где $V_{\text{км}}$ - объемная подача компрессора, м³/с,

$\alpha = 0,15$ - при $P < 12$ Мпа

$$V_{\text{км}} = 0,15 \sqrt{4,18} = 0,3 \text{ м}^3/\text{с}$$

Влагомаслоотделитель показан на чертеже.

Таблица 2.4 – Размеры влагомаслоотделителя

d_y	d	d_1	D	H	ℓ	h	n	m	a	u
150	159×4,8	106×4	583	1580	611	195	273	245	91	366

2.5 Расчет и выбор ресивера

Колебания давления воздуха, создаваемые компрессорами и изменением нагрузки, снижают производительность компрессоров и увеличивают расход электроэнергии на ВКС.

Это явление отрицательно сказывается на работе потребителей воздуха. Ресиверы сглаживают пульсаций воздуха. Они аккумулируют сжатый воздух, а также улавливают остаточное масло и водяной конденсат.

Воздухосборник – это вертикальный цилиндрический аппарат с арматурой. Он подлежит освидетельствованию в Технадзоре в соответствии с [2].

Объем воздухосборника рассчитан на работу потребителей в течении 20 минут без работы компрессора [1].

$$V = 1,6\sqrt{Q_m}, \text{ м}^3 \quad (2.4)$$

где Q_m - максимальная подача воздуха в ресивер, $\text{м}^3/\text{мин}$

$$V = 1,6\sqrt{250} = 24,9 \text{ м}^3 \Rightarrow V_{\text{ст}} = 25 \text{ м}^3$$

Таблица 2.5 - Основные размеры воздухосборника

V м^3	D_k мм	H мм	H мм	S мм	S_i мм	K мм	ℓ мм	e мм	n мм	t мм	m мм
25	2000	74	5859	10,2	14,0	2640	1050	157	1613	1256	-

2.6 Расчет и выбор маслоохладителя

Исходные данные:

- температура входящей воды $t'_в = 26^\circ\text{C}$;
- температура выходящей воды $t''_в = 38^\circ\text{C}$;
- температура горячего масла $t'_м = 90^\circ\text{C}$;
- температура охлажденного масла $t''_м = 50^\circ\text{C}$;
- расход масла $G_m = 5,3 \text{ кг/с}$.

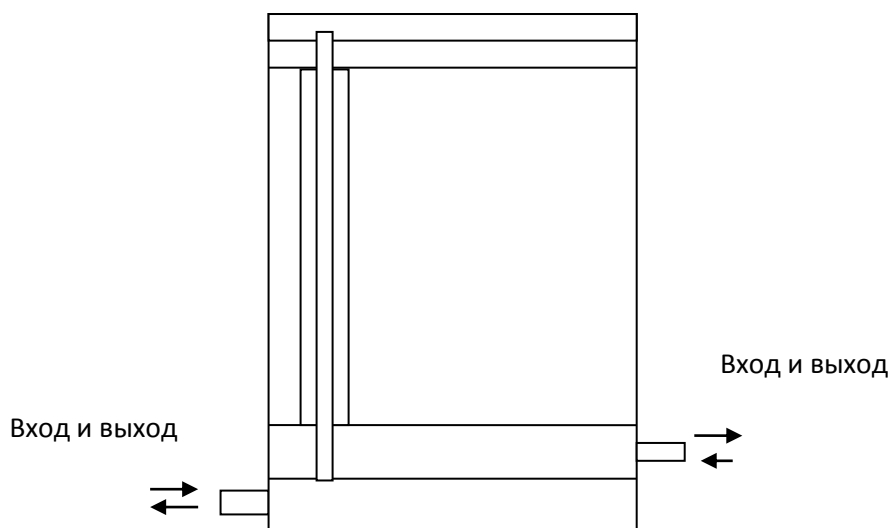


Рисунок 2.2 - Расчетная схема маслоохладителя

Баланс тепловой по [3]

$$Q = G_B \times \bar{c}_B \times (t_B'' - t_B') \times \eta = G_M \times \bar{c}_M \times (t_M' - t_M'') \times \eta \quad (2.5)$$

где $\bar{c}_B$ - удельная теплоемкость воды при $\bar{t}_B = 32^\circ\text{C}$ по [4]

$$\bar{c}_B = 4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{K}}$$

G_M - расход масла, кг/с

$\bar{c}_M$ - теплоемкость масла при $\bar{t}_M = 70^\circ\text{C}$, $\bar{c}_M = 1,9 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{K}}$ [4]

η - КПД охладителя, $\eta = 0,95$ [5]

Теплота охлаждения масла, Q , кВт

$$Q = 5,3 \times 1,9 \times (90 - 50) = 403 \text{ кВт}$$

Расход циркуляционной воды, G_B

$$G_B = \frac{Q \times 10^3}{c_B \times 10^3 \times (t_B'' - t_B') \times \eta} \quad [3]$$

$$G_B = \frac{403 \times 10^3}{4,19 \times 10^3 \times (38 - 26) \times 0,95} = 7,9 \text{ кг/с}$$

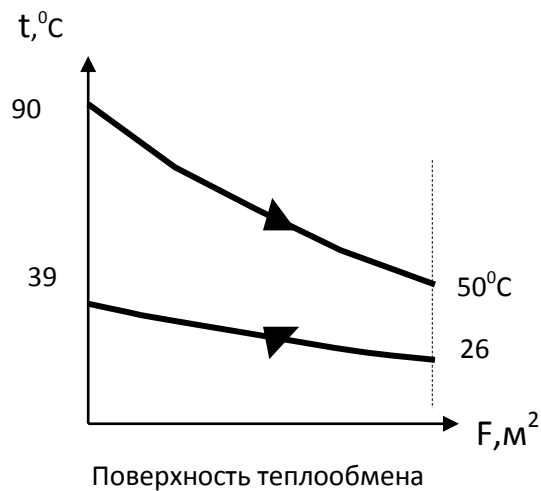


Рисунок 2.3 - Температура теплоносителей в маслоохладителе
Напор температурный [3]

$$\Delta t = \frac{(t'_M - t''_B) - (t''_M - t'_B)}{\ln \frac{t'_M - t'_B}{t''_M - t''_B}} = \frac{(90 - 38) - (50 - 26)}{\ln \frac{90 - 38}{50 - 26}} = 35,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.6)$$

Интенсивность теплопередачи ориентировочная [3]

$$K_{op} = 200 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

Площадь теплопередачи ориентировочная [3]

$$F_x = \frac{Q}{K_{op} \times \Delta t} = \frac{403 \times 10^3}{200 \times 35,5} = 56 \text{ м}^2 \quad (2.7)$$

По [3] выбираем теплообменник по конструкции маслоохладителя
МБРГ-40 - 150.

Таблица 2.6 – Характеристики маслоохладителя

Диаметр кожуха	Диаметр трубок	Элементов трубчатых	Ходов по воде	Ходов по маслу	Проектный расход масла м³/ч	Длина трубок
$D_{\text{кн}}, \text{мм}$	$D_{\text{т}}, \text{мм}$	n	z			$\ell, \text{м}$
810	50 и 25	86	2	2	30	3

Поверхность теплообмена – элементы типа «труба в трубе». Наружная поверхность внутренней трубы имеет продольные ребра. В кольцевых каналах протекает масло. Маслоохладитель – 2-х ходовой по маслу и воде [3].

Скорость воды в трубках, [3]

$$W_B = \frac{G_B}{\rho_B \times S_{\text{тр}}} \quad (2.8)$$

Температура воды средняя [3]

$$\bar{t}_B = 0,5 \times (t'_B - t''_B) = 0,5 \times (26 + 38) = 32 \text{ }^\circ\text{C} \quad (2.9)$$

$S_{\text{тр}}$ - сечение трубного пучка, м^2

$$W_B = \frac{7,9}{998 \times 0,02} = 0,4 \text{ м/с}$$

Критерий Рейнольдса воды [3]

$$Re_{\text{тр}} = \frac{W_{\text{тр}} \times d_{\text{вн}}}{\nu_B} \quad (2.10)$$

где $d_{\text{вн}}$ - внутренний диаметр трубок, м

При $\bar{t}_B = 32^\circ\text{C}$, вязкость $\nu_B = 0,795 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ по [4]

$$Re_{\text{тр}} = \frac{0,4 \times 0,025}{0,795 \times 10^{-6}} = 12600$$

При $Re_B > 10000$ наблюдается турбулентный режим

Критерий Нуссельта воды $\overline{Nu}$ [3]

$$\overline{Nu} = 0,021 \times Re_B^{0,8} \times Pr_B^{0,43} \times \left(\frac{Pr_B}{Pr_{\text{ст}}}\right)^{0,25} \times \varepsilon_{\text{пер}} \quad (2.11)$$

где Pr_B - критерий Прандтля для воды при $\bar{t}_B = 32 \text{ }^\circ\text{C}$, $Pr_B = 5,35$ [4]

$Pr_{\text{ст}}$ - критерий Прандтля воды при $t_{\text{ст}}$.

Принимаем $t_{\text{ст}1} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$, $Pr_{\text{ст}} = 3,85$ [4]

$$\overline{Nu} = 0,021 \times 12600^{0,8} \times 5,35^{0,43} = 84,1$$

Интенсивность теплоотдачи от стенки к воде, $\alpha, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$, [3]

$$\alpha = \frac{\overline{Nu}_B \times \lambda_B}{d_{\text{вн}}}, \quad (2.12)$$

где λ_B - теплопроводность воды [4]

$$\bar{t}_B = 32^\circ\text{C}, \lambda_B = 0,61 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{К}}$$

$$\alpha = \frac{84,1 \times 0,61}{0,025} = 2041 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

Теплота от стенки к воде $q_B, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ [3]

$$q_B = \alpha \times (t_{\text{ст1}} - \overline{t_B}) = 2041 \times (40 - 32) = 16328 \text{ Вт/м}^2 \quad (2.13)$$

Температура стенки на стороне масла, $t'_{\text{ст1}} \text{ } ^\circ\text{C}$

$$t'_{\text{ст1}} = t_{\text{ст1}} + \left(\frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} r_{\text{загр}}^B + r_{\text{загр}}^M \right) \times q_B \quad (2.14)$$

здесь $\lambda_{\text{ст}}$ - коэффициент теплопроводности стали, $\lambda_{\text{ст}} = 46,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{К}}$ [4];

$r_{\text{загр}}^B$ - тепловое сопротивление загрязнений на стороне воды, $\frac{\text{м}^2 \times \text{К}}{\text{Вт}}$ [4];

$$r_{\text{загр}}^B = 0,000173 \frac{\text{м}^2 \times \text{К}}{\text{Вт}};$$

$r_{\text{загр}}^M$ - тепловое сопротивление загрязнений на стороне масла, $\frac{\text{м}^2 \times \text{К}}{\text{Вт}}$ [4];

$$r_{\text{загр}}^M = 0,000345 \frac{\text{м}^2 \times \text{К}}{\text{Вт}};$$

$$t'_{\text{ст1}} = 40 + \left(\frac{0,002}{46,5} + 0,000172 + 0,000345 \right) \times 16328 = 49,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Скорость масла в канале кольцевом $W_M \text{ м/с}$ [3]

$$W_B = \frac{G_M}{\rho_M \times S_{\text{MT}}} \quad (2.15)$$

где ρ_M - плотность масла, $\rho_M = 864 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ [4]

S_{MT} - общее сечение кольцевых каналов, м^2

Температура масла $\overline{t_M}$

$$\overline{t_M} = 0,5 \times (t'_M + t''_M) = 0,5 \times (90 + 50) = 70 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.16)$$

$$W_M = \frac{5,3}{864 \times 0,8 \times 10^{-2}} = 0,78 \text{ м/с}$$

Критерий Рейнольдса масла, Re_M

$$Re_M = \frac{W_M \times d_{1H}}{v_M} \quad (2.17)$$

где d_{1H} - наружный диаметр трубок, $d_{1H} = 0,032 \text{ м}$

v_M - кинематическая вязкость масла при $\overline{t_M} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\text{м}^2/\text{с}$ [4]

$$Re_M = \frac{0,78 \times 0,032}{22 \times 10^{-6}} = 1143$$

Критерий Нуссельта масла при $Re_M < 2000$, $d_{2BH}/d_{1H} = 1,2 \dots 2$ [3]

$$\overline{Nu}_m = C_u \times 0,205 \times Re_m^{0,5} \times Pr_m^{0,43} \times c_t \quad (2.18)$$

где C_u - для нашего случая 1,5 [3]

Pr_m - критерий Прандтля масла $Pr_m = 111$ [4]

$Pr_{ст}$ - критерий Прандтля масла при $t'_{ст1} = 49,1$ °C, $Pr_{ст} = 166$ [4]

$$\overline{Nu}_m = 1,5 \times 0,205 \times 1163^{0,5} \times 8,6^{0,43} \left(\frac{111}{166}\right)^{0,25} \times 2,6 = 82,6$$

Теплоотдача от масла к стенке $\alpha_m, \frac{Вт}{м^2 \times К}$

$$\alpha_m = \frac{\overline{Nu}_m \times \lambda_m}{d_H} \quad (2.19)$$

где λ_m - теплопроводность воды при $t'_{ст1} = 49,1$ [4]

$$\alpha_m = \frac{82,6 \times 0,139}{0,032} = 1502 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

Теплота от масла к трубам $q_m, \frac{Вт}{м^2}$

$$q_m = \alpha_m \times (\overline{t}_m - t'_{ст1}) = 1502 \times (70 - 49,1) = 7482 \frac{Вт}{м^2}$$

Т.к. $q_m = 7482 \frac{Вт}{м^2} < q_B = 16328 \frac{Вт}{м^2}$ перезадаемся $t_{ст} = 39$ °C и

повторяем расчет.

Получено окончательно:

Действительный поток тепловой $q_d = 11100 \frac{Вт}{м^2}$

Реальный коэффициент теплоотдачи, $\frac{Вт}{м^2 \times К}$ [3]

$$k = \frac{q_d}{\Delta t} = \frac{11100}{35,5} = 313 \frac{Вт}{м^2 \times К} \quad (2.20)$$

Поверхность теплопередачи, $м^2$, [3]

$$F = \frac{Q}{K \times \Delta t} = \frac{403 \times 10^3}{313 \times 35,5} = 36,4 м^2$$

Запас по площади составляет

$$\Delta = \left| \frac{43 - 36,4}{43} \right| \times 100\% = 15,3\%$$

2.7 Расчет холодильника сжатого воздуха

Данные для расчета:

- температура входящей воды $t'_B = 26$ °C;

- конечная температура циркуляционной воды $t''_B = 38$ °C;

- температура воздуха начальная $t'_{\text{воз}} = 130 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- температура воздуха конечная $t''_{\text{воз}} = 39 \dots 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- расход воздуха через холодильник $V_{\text{в}} = 4,166 \text{ м}^3/\text{с}$;
- влажность воздуха относительная $\varphi = 44$.

Принят серийный теплообменник кожухотрубного типа общего назначения, показанный на чертеже.

Теплота охлаждения воздуха, [6]

$$Q_{\text{охл}} = Q_{\text{в}} + Q_{\text{п}}, \text{ Вт} \quad (2.21)$$

здесь $Q_{\text{в}}$ сухой воздух, Вт;

$Q_{\text{п}}$ - теплота охлаждения и конденсации паров воды, Вт [6]

$$Q_{\text{в}} = V_{\text{в}} \times \rho_{\text{в}} \times c_{\text{в}} \times (t'_{\text{воз}} - t''_{\text{воз}}) \quad (2.22)$$

где $V_{\text{в}}$ - подача воздуха по всасу

$$V_{\text{в}} = 250 \text{ м}^3/\text{мин} \text{ или } V_{\text{в}} = 4,166 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$c_{\text{в}} = 1,017 \times 10^3 \text{ Дж}/\text{кг} \times \text{К} \text{ при } t'_{\text{воз}} = 130 \text{ }^{\circ}\text{C} [4]$$

$$Q_{\text{в}} = 4,166 \times 1,29 \times 1,017 \times 10^3 \times (130 - 40) = 539 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{п}} = V_{\text{в}} \times \rho_{\text{в}} [c_p \times (x_1 t_1 \times x_2 t_2) + (r_0 - k t_2) \times (x_1 - x_2)], \text{ Вт} \quad [6] \quad (2.23)$$

здесь c_p - теплоемкость пара удельная, $\text{Дж}/\text{кг} \times \text{К}$

r_0 - теплота конденсации удельная, $\text{Дж}/\text{кг}$

k - определяет снижение r_0 - при росте t_s

X_1, X_2 - влагосодержание воздуха начальное и конечное, $\text{кг}/\text{кг}$.

Теплофизические параметры теплоносителей [4]:

$$c_p = 1878 \text{ Дж}/\text{кг} \times \text{К}, r_0 = 2,45 \times 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}, k = 2339$$

$$x_1 = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{п}}} \times \frac{P_{1\text{нас}} \times f_1}{P_0 - P_{1\text{нас}} \times f_1}, \text{ кг}/\text{кг} \quad (2.24)$$

$$x_2 = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{п}}} \times \frac{P_{2\text{нас}} \times f_2}{P_0 - P_{2\text{нас}} \times f_2}, \text{ кг}/\text{кг} \quad (2.25)$$

где R_B - газовая постоянная воздуха, $R_B = 287 \text{ Дж} / \text{кг} \times \text{К}$;

R_{Π} - газовая постоянная пара, $R_{\Pi} = 461 \text{ Дж} / \text{кг} \times \text{К}$;

P_0 – давление воздуха в холодильнике, $P = 3,2 \times 10^5 \text{ Па}$;

$P_{1\text{нас}}$ - давление насыщения, Па;

$P_{1\text{нас}} = 4032 \text{ Па}$ при $t'_{\text{воз}} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$;

$P_{2\text{нас}}$ - то же на выходе из охладителя при $t''_{\text{воз}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$;

$P_{2\text{нас}} = 7374 \text{ Па}$;

f_1 - относительная влажность воздуха на всасе, $f_1 = 0,44$;

f_2 - относительная влажность воздуха на выходе, $f_2 = 1$.

$$x_1 = \frac{287}{461} \times \frac{4032 \times 0,44}{3,2 \times 10^5 - 4032 \times 0,44} = 0,0111 \text{ кг/кг}$$

$$x_2 = \frac{287}{461} \times \frac{7374 \times 1}{3,2 \times 10^5 - 7374 \times 1} = 0,0135 \text{ кг/кг}$$

По 2.23 вычислено $Q_{\Pi} = 43 \text{ кВт}$

По 2.21 $Q_{\text{охл}} = 539 + 43 = 582 \text{ кВт}$

Расход охлаждающей воды

$$G_B = \frac{Q_{\text{охл}}}{(t''_B - t'_B) \times \bar{C}_B} \text{ кг/с} \quad (2.26)$$

$$G_B = \frac{582 \times 10^3}{(38 - 26) \times 4,19 \times 10^3} = 11,9 \text{ кг/с}$$

Теплоемкость воды $\bar{C}_B = 4,19$ при $\bar{t}_B = 32 \text{ }^\circ\text{C}$ [4]

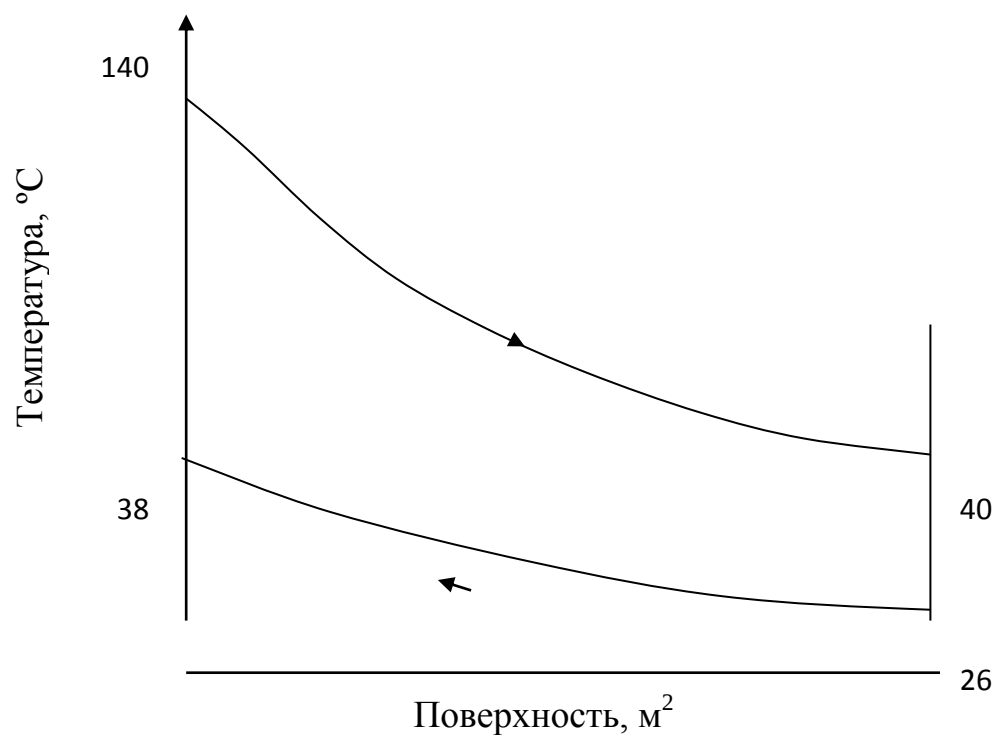


Рисунок 2.5 – Температура теплоносителей в холодильнике
Поверхность теплообмена приблизительная [3]

$$F_{\text{ор}} = \frac{Q_{\text{охл}}}{K_{\text{ор}} \times \Delta t}, \text{ м}^2 \quad (2.27)$$

где Δt - напор температурный, °C

$K_{\text{ор}}$ - принятый коэффициент теплопередачи [3], $\text{Вт}/\text{м}^2 \times \text{К}$

$$K_{\text{ор}} = 66 \text{ Вт}/\text{м}^2 \times \text{К}$$

$$\Delta t_{\text{в}} = \frac{(t'_{\text{в03}} - t''_{\text{в}}) - (t''_{\text{в03}} - t'_{\text{в}})}{\ln \frac{t'_{\text{в03}} - t'_{\text{в}}}{t''_{\text{в03}} - t''_{\text{в}}}} = \frac{(130 - 38) \times (40 - 26)}{\ln \frac{130 - 38}{40 - 26}} = 50,5 \text{ °C} \quad [3] \quad (2.28)$$

$$F_{\text{ор}} = \frac{582 \times 10^3}{66 \times 50,5} = 174 \text{ м}^2$$

Предварительно принятый теплообменник полностью проходит в качестве воздухоохладителя.

Таблица 2.7 - Характеристики воздухоохладителя

Диаметр кожуха	Поверхность теплообмена	Диаметр трубок	Число трубок	Число ходов	Сечение трубного пространства	Сечение межтрубного пространства	Длина трубок
$D_{\text{вн}}, \text{мм}$	$F, \text{м}^2$	$d_{\text{вн}} \times \delta_{\text{ст}}, \text{мм}$	n	z	$S_{\text{тр}}, \text{м}^2$	$S_{\text{мтр}}, \text{м}^2$	$\ell, \text{м}$
1000	251	$33 \times 2,5$	359	1	0,123	0,253	5,9

Скорость воздуха в межтрубном объеме [3]

$$W_{\text{мтр}} = \frac{V_1 \times (273 + t_{\text{в}}^{\text{ср}}) \times P_1}{S_{\text{мтр}} \times 273 \times P_2}, \text{ м/с} \quad (2.29)$$

где $S_{\text{мтр}}$ - межтрубное сечение, м^2

V_1 - расход воздуха на всасе, $\text{м}^3/\text{с}$

$$W_{\text{мтр}} = \frac{4,17 \times (273 + 85) \times 1}{0,253 \times 273 \times 2} = 5,1 \text{ м/с}$$

Критерий Рейнольдса

$$Re_{\text{мтр}} = \frac{W_{\text{мтр}} \times d_{\text{н}}}{\nu_{\text{воз}}} \quad (2.30)$$

где $d_{\text{н}}$ - наружный диаметр трубок, $d_{\text{н}} = 0,035 \text{ м}$

$\nu_{\text{воз}}$ - коэффициент вязкости воздуха, $\nu_{\text{воз}} = 16,6 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ при

$$t''_{\text{воз}} = 40 \text{ }^\circ\text{C} [4]$$

$$Re_{\text{мтр}} = \frac{5,1 \times 0,035}{16,6 \times 10^{-6}} = 17850 [4]$$

При $Re_{\text{мтр}} > 10000$ имеем зависимость [3]

$$\overline{Nu}_{\text{мтр}} = 0,214 \times Re_{\text{мтр}}^{0,6} = 0,214 \times 17850^{0,6} = 76,1 \quad (2.31)$$

Коэффициент теплоотдачи от воздуха

$$\alpha_{\text{мтр}} = \frac{\overline{Nu}_{\text{мтр}} \times \lambda_{\text{воз}}}{d_{\text{н}}}, \text{ Вт/м}^2 \times \text{К} \quad (2.32)$$

где $\lambda_{\text{воз}}$ - теплопроводность воздуха при $\bar{t}_{\text{воз}} = 85 \text{ }^\circ\text{C}$ [4]

$$\lambda_{\text{воз}} = 0,029 \text{ Вт/м} \times \text{К}$$

$$\alpha_{\text{мтр}} = \frac{76,1 \times 0,029}{0,035} = 63 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К}$$

Скорость воды в трубках

$$W_{\text{тр}} = \frac{G_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}} \times S_{\text{тр}}}, \text{ м/с} \quad (2.33)$$

$$W_{\text{тр}} = \frac{11,9}{998 \times 0,123} = 0,1 \text{ м/с}$$

Рейнольдс воды

$$Re_{\text{тр}} = \frac{W_{\text{тр}} \times d_{\text{н}}}{\nu_{\text{в}}} \quad (2.34)$$

где $d_{\text{н}}$ - внутренний диаметр

$\nu_{\text{в}}$ - вязкость воды при $\bar{t}_{\text{в}} = 32 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\nu_{\text{в}} = 0,793 \times 10^{-6}$ [4]

$$Re_{\text{тр}} = \frac{0,1 \times 0,033}{0,793 \times 10^{-6}} = 4578$$

Для переходного режима $2300 < Re_{\text{тр}} < 10000$ рассчитаем критерий

Нуссельта [3]

$$\overline{Nu}_{\text{тр}} = \varepsilon \times Pr_{\text{тр}}^{0,43} = 55,4 \quad (2.35)$$

здесь ε - при $Re_{\text{тр}} = 4578$, $\varepsilon = 26$

$$\overline{Nu}_{\text{тр}} = 26 \times 5,42^{0,43} = 55,4$$

Коэффициент теплоотдачи от воды

$$\alpha_{\text{тр}} = \frac{\overline{Nu}_{\text{тр}} \times \lambda_{\text{в}}}{d_{\text{н}}} \quad (2.36)$$

где $\lambda_{\text{в}}$ - коэффициент теплопроводности воды при $\bar{t}_{\text{в}} = 32 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [4]

$$\lambda_{\text{в}} = 0,62 \text{ Вт/м} \times \text{К}$$

$$\alpha_{\text{тр}} = \frac{55,4 \times 0,62}{0,033} = 1041 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К}$$

Коэффициент теплопередачи в охладителе, [3]

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{мтр}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{тр}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + R_3} \text{ Вт/м}^2 \times \text{К} \quad (2.37)$$

$\lambda_{\text{ст}}$ - коэффициент теплопроводности стали, $\text{Вт/м} \times \text{К}$ [4]

$$\lambda_{\text{ст}} = 46,4 \text{ Вт/м} \times \text{К}$$

R_3 - термическое сопротивление загрязнений, $\text{м}^2 \times \text{К/Вт}$ [3]

$$R_3 = \frac{1}{r_{\text{в03}}} + \frac{1}{r_{\text{в}}} \quad (2.38)$$

где $r_{\text{в03}}$ - со стороны воздуха, $r_{\text{в03}} = 2800, \text{Вт/м}^2 \times \text{К}$ [4]

$r_{\text{в}}$ - со стороны воды, $r_{\text{в}} = 3810, \text{Вт/м}^2 \times \text{К}$ [4]

$$R_3 = \frac{1}{2800} + \frac{1}{3810} = 6,3 \times 10^{-4}, \text{м}^2 \times \text{К/Вт}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{63} + \frac{1}{1041} + \frac{0,002}{46,4} + 6,3 \times 10^{-4}} = 64,4 \text{Вт/м}^2 \times \text{К}$$

Поверхность теплообмена расчетная

$$F_T = \frac{Q_{\text{охл}}}{K \times \Delta t} = \frac{582}{64,4 \times 50,5} = 183 \text{ м}^2 \quad (2.39)$$

Запас по площади

$$\Delta = \left| \frac{F_{\text{ст}} - F_{\text{ор}}}{F_{\text{ст}}} \right| \times 100\% = \left| \frac{255 - 174}{255} \right| \times 100\% = 31\% \quad (2.40)$$

Гидравлический расчет воздухоохладителя

Производится для определения необходимого напора насоса, подающего обратную воду на охлаждение воздухоохладителей и маслоохладителей.

Гидравлическое сопротивление по воде, Па, [3]

$$\Delta P_{\text{трв}} = \lambda_{\text{тр}} \times \frac{L \times z}{d_{\text{вн}}} \times \frac{W_{\text{в}}^2 \times \rho_{\text{в}}}{2} + (2,5 \times (z - 1) + 2 \times z) \times \frac{W_{\text{в}}^2 \times \rho_{\text{в}}}{2} + 3 \frac{W_{\text{вшт}}^2 \times \rho_{\text{в}}}{2} \quad (2.41)$$

где $\lambda_{\text{тр}}$ - коэффициент трения [3]

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,25 \times \left[\lg \left(\frac{e}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re_{\text{тр}}} \right)^{0,9} \right) \right]^{-2} \quad (2.42)$$

где e - шероховатость стенок труб [3]

$$e = \frac{\Delta}{d_{\text{вн}}} \quad (2.43)$$

где Δ - высота выступов, $\Delta = 0,21 \text{ мм}$

$$e = \frac{0,0002}{0,033} = 0,0061$$

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,25 \times \left[\lg \left(\frac{0,0061}{3,7} + \left(\frac{6,81}{4578} \right)^{0,9} \right) \right]^{-2} = 0,044$$

L - длина труб холодильника, $L = 4 \text{ м}$

$W_{\text{вшт}}$ - скорость воды в подводящих патрубках

$$W_{\text{вшт}} = \frac{4G_{\text{в}}}{\pi \times d_{\text{шт}}^2 \times \rho_{\text{в}}}, \text{ М/с} \quad (2.44)$$

где $d_{\text{шт}}$ - диаметр подводящих воду патрубков, $d_{\text{шт}} = 0,15$ м

$$W_{\text{вшт}} = \frac{4 \times 11,9}{3,14 \times 0,15^2 \times 998} = 0,69 \text{ М/с}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{трв}} &= 0,044 \times \frac{4,1}{0,033} \times \frac{0,1^2 \times 998}{2} + (2,5 \times (1 - 1) + 2 \times 1) \times \frac{998 \times 0,1^2}{2} + 3 \\ &\times \frac{998 \times 0,69^2}{2} = 7476 \text{ Па} \end{aligned}$$

2.8 Расчет утилизатора теплоты

Желательно теряемую в градирне теплоту охлаждающей воды использовать для нагрева воды на нужды предприятия.

Перед концевым холодильником устанавливаем теплоутилизатор. Воздух охлаждается в утилизаторе до 70°C , а хоз.- питьевая вода нагревается до 60°C .

Принимаем конструкцию воздухоохладителя – вертикальный кожухотрубный теплообменник одноходовой по воде (приведен в графической части).

Теплота от охлаждения влажного воздуха в утилизаторе

$$Q_{\text{охл}} = Q_{\text{в}} + Q_{\text{п}} \quad (2.45)$$

Теплота от охлаждения воздуха сухого

$$Q_{\text{в}} = V_{\text{в}} \times \rho_{\text{в}} \times c_{\text{в}} \times (t'_{\text{воз}} - t''_{\text{воз}}), \text{ Вт} \quad (2.53)$$

где $c_{\text{в}}$ - удельная теплоемкость воздуха при $P = 0,8 \times 10^6$ Па, $\overline{t_{\text{воз}}} = 105^\circ\text{C}$ [4]

$$c_{\text{в}} = 1,02 \times 10^3 \text{ Дж/кг} \times \text{К}$$

$$Q_{\text{в}} = 4,17 \times 1,29 \times 1,02 \times 10^3 \times (130 - 70) = 380 \text{ кВт}$$

Тепло от охлаждения и конденсации водяных паров

$$Q_{\text{п}} = V_{\text{в}} \times \rho_{\text{в}} [c_p \times (x_1 t_1 \times x_2 t_2) + (r_0 - k t_2) \times (x_2 - x_1)] \text{ Вт} \quad (2.46)$$

$$x_1 = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{п}}} \times \frac{P_{1\text{нас}} \times l_1}{P_0 - P_{1\text{нас}} \times l_1}, \text{ кг/кг} \quad (2.47)$$

$$x_2 = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{п}}} \times \frac{P_{2\text{нас}} \times l_2}{P_0 - P_{2\text{нас}} \times l_2}, \text{ кг/кг} \quad (2.48)$$

где P_0 - давление воздуха на всасе, $P_0 = 0,8 \times 10^6$ Па

$$x_1 = \frac{287}{461} \times \frac{4032 \times 0,43}{0,8 \times 10^6 - 4032 \times 0,43} = 0,0018 \text{ кг/кг}$$

$$x_2 = \frac{287}{461} \times \frac{7374 \times 1}{0,8 \times 10^6 - 7374 \times 1} = 0,0057 \text{ кг/кг}$$

$$Q_{\Pi} = 4,17 \times 1,29 [1020 \times (0,0018 \times 130 - 0,0058 \times 70) + (2,5 \times 10^3 - 2346 \times 70) \times (0,0058 - 0,0018)] = 49,3 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{охл}} = 380 + 49,3 = 429,3 \text{ кВт}$$

Количество нагреваемой воды [3]

$$G_{\text{ту}} = \frac{Q_{\text{охл}}}{(t_1 - t_1') \times C_B} = \frac{429,3 \times 10^3}{4,19 \times 10^3 \times (60 - 30)} = 3,4 \text{ кг/с} \quad (2,49)$$

Приблизительная поверхность теплоутилизатора [3]

$$F_{\text{ор}} = \frac{Q_{\text{охл}}}{K_{\text{ор}} \times \Delta t}, \text{ м}^2 \quad (2,50)$$

Где $K_{\text{ор}}$ - принятый коэффициент теплопередачи, $\text{Вт/м}^2 \times \text{К}$ [3]

Берем $K_{\text{ор}} = 105 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К}$

$$\Delta t_B = \frac{(t'_{\text{в03}} - t''_{\text{в}}) - (t''_{\text{в03}} - t'_{\text{в}})}{\ln \frac{t'_{\text{в03}} - t''_{\text{в}}}{t''_{\text{в03}} - t'_{\text{в}}}} = \frac{(130 - 60) \times (70 - 30)}{\ln \frac{130 - 60}{70 - 30}} = 55^\circ \text{C}$$

$$F_{\text{ср}} = \frac{429,3}{105 \times 55} = 74 \text{ м}^2$$

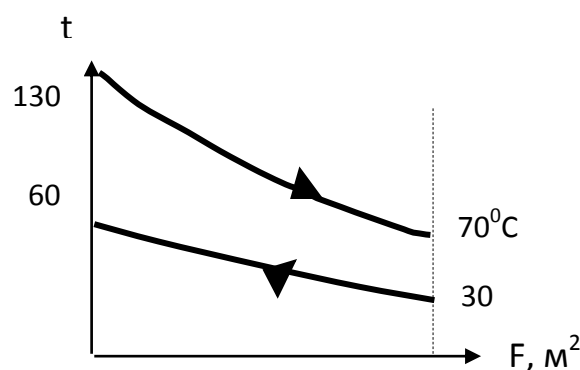


Рисунок 2.6 – Распределение температур в утилизаторе

Таблица 2.9 – Характеристики воздухоохладителя-утилизатора

Диаметр кожуха	Поверхность теплообмена	Диаметр трубок	Число трубок	Число ходов	Сечение трубок	Сечение межтрубного пространства	Длина трубок
$D_{\text{кш}}, \text{ мм}$	$F, \text{ м}^2$	$d_{\text{т}} \times \delta_{\text{ст}}, \text{ мм}$	n	z	$S_{\text{тс}}, \text{ м}^2$	$S_{\text{мт}}, \text{ м}^2$	$\ell, \text{ м}$
820	98	38×2,5	218	1	0,193	0,217	4

Расчет теплоутилизатора поверочный

Скорость воздуха между трубками,

$$W_{\text{мтр}} = \frac{4,17 \times (273 + 85) \times 1}{0,21 \times 273 \times 7,8} = 5,7, \text{ м/с}$$

Рейнольдс для воздуха

$$Re_{\text{мтр}} = \frac{5,7 \times 0,038}{9,2 \times 10^{-6}} = 26200$$

Нуссельт при турбулентном режиме [3]

$$\overline{Nu}_{\text{тр}} = 0,214 \times Re^{0,6} = 0,214 \times 26200^{0,6} = 116$$

Коэффициент теплоотдачи от воздуха

$$\alpha_{\text{мтр}} = \frac{\overline{Nu}_{\text{мтр}} \times \lambda_{\text{воз}}}{d_{\text{н}}}, \text{ Вт/м}^2 \times \text{К} \quad (2,51)$$

где $\lambda_{\text{воз}}$ - теплопроводность воздуха $P = 0,8 \times 10^6 \text{ Па}$ и

$$\overline{t}_{\text{воз}} = 100^\circ\text{C} \text{ [4]}$$

$$\lambda_{\text{воз}} = 0,029 \text{ Вт/м} \times \text{К}$$

$$\alpha_{\text{мтр}} = \frac{116 \times 0,029}{0,038} = 88,6 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К}$$

Скорость воды в трубках

$$W_{\text{тр}} = \frac{G_{\text{ту}}}{\rho_{\text{в}} \times S_{\text{тр}}} = \frac{3,4}{998 \times 0,190} = 0,07 \text{ м/с} \quad (2,52)$$

Рейнольдс для воды

$$Re_{\text{тр}} = \frac{W_{\text{тр}} \times d_{\text{н}}}{\nu_{\text{в}}} = \frac{0,07 \times 0,033}{0,793 \times 10^{-6}} = 4161 \quad (2,53)$$

Нуссельт для переходного режима [3]

$$Re_{\text{тр}} = 4161 < 10000$$

$$\overline{Nu}_{\text{тр}} = \varepsilon \times Pr_{\text{тр}}^{0,43} \quad (2,54)$$

где ε - определяется Рейнольдсом, при $Re = 4161$ имеем $\varepsilon = 27$ [4]

$$\overline{Nu}_{\text{тр}} = 27 \times 5,33^{0,43} = 55,4$$

Теплоотдача от воды к стенке, $\text{Вт/м}^2 \times \text{К}$

$$\alpha_{\text{тр}} = \frac{\overline{Nu}_{\text{тр}} \times \lambda_{\text{воз}}}{d_{\text{вн}}}$$

$$\alpha_{\text{тр}} = \frac{55,4 \times 0,62}{0,033} = 1041 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К} \quad (2,55)$$

Коэффициент теплопередачи, $\text{Вт/м}^2 \times \text{К}$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{мтр}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{тр}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + R_3} \quad (2,56)$$

где R_3 - общее термическое сопротивление загрязнений труб [4]

$$R_3 = 6,2 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{88,6} + \frac{1}{1041} + \frac{0,002}{46,4} + 6,2 \times 10^{-4}} = 78 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К}$$

Поверхность теплопередачи

$$F_{\text{тр}} = \frac{Q_{\text{охл}}}{k \times \Delta t} = \frac{429,3 \times 10^3}{78 \times 55} = 96 \text{ м}^2 \quad (2,57)$$

Принимает теплообменник $F = 98 \text{ м}^2$

Есть небольшой запас по площади теплопередачи.

Гидравлический расчет утилизатора теплоты

Ищем необходимый напора насоса, подающего воду ГВС.

Сопротивление трубного сечения, Па,

$$\Delta P_{\text{трв}} = \lambda_{\text{тр}} \times \frac{L \times z}{d_{\text{вн}}} \times \frac{W_{\text{в}}^2 \times \rho_{\text{в}}}{2} + (2,5 \times (z - 1) + 2 \times z) \times \frac{W_{\text{в}}^2 \times \rho_{\text{в}}}{2} + 3 \frac{W_{\text{вшт}}^2 \times \rho_{\text{в}}}{2} \quad (2,58)$$

где $\lambda_{\text{тр}}$ - коэффициент трения

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,25 \times \left[\lg \left(\frac{e}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re_{\text{тр}}} \right)^{0,9} \right) \right]^{-2} \quad (2,59)$$

$$\text{где } e - \text{шероховатость стенок теплообменных труб, } e = \frac{\Delta}{d_{\text{вн}}}. \quad (2,60)$$

где Δ - высота выступов шероховатости, $\Delta = 0,2 \text{ мм}$

$$e = \frac{0,0002}{0,033} = 0,0061$$

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,25 \times \left[\lg \left(\frac{0,0061}{3,7} + \left(\frac{6,81}{4161} \right)^{0,9} \right) \right]^{-2} = 0,044$$

L - длина труб утилизатора, $L = 3 \text{ м}$;

$W_{\text{вшт}}$ - скорость воды в водяных патрубках, м/с .

$$W_{\text{вшт}} = \frac{4G_{\text{в}}}{\pi \times d_{\text{шт}}^2 \times \rho_{\text{в}}}, \text{ м/с} \quad (2,61)$$

где $d_{шт}$ - диаметр водяных патрубков, $d_{шт} = 0,16$ м

$$W_{шт} = \frac{4 \times 3,4}{3,14 \times 0,16^2 \times 998} = 0,33 \text{ м/с}$$

$$\Delta P_{трв} = 0,44 \times \frac{3 \times 1}{0,033} \times \frac{0,1^2 \times 998}{2} + (2,5 \times (1 - 1) + 2 \times 1) \times \frac{998 \times 0,1^2}{2} + 3 \frac{0,33^2 \times 998}{2} = 4526 \text{ Па}$$

Выбор циркуляционного насоса

Общие потери давления в схеме ГВС, Па [5]

$$P = \Delta P_v + \Delta P_{сети} + P_{ст} \quad (2,62)$$

ΔP_v - потери в теплоутилизаторе, $\Delta P_v = 4530$ Па;

$\Delta P_{сети}$ - сетевые потери, берем $\Delta P_{сети} = 120000$ Па;

$P_{ст}$ – напор у потребителя, берем $P_{ст} = 50000$ Па;

$$P = 4500 + 100000 + 50000 = 154500 \text{ Па} \quad P = 4530 + 120000 + 50000 = 174530;$$

Расход воды через теплоутилизатор $G_v = 3,4 \text{ кг/с}$.

Устанавливаем 2 насоса марки КМ50 – 32 – $\frac{125}{2}$ – 5:

- подача $12,6 \text{ м}^3/\text{ч}$;

- напор $H = 24$ м;

- мощность электродвигателя $N = 2,3$ кВт;

- КПД насоса, $\eta = 0,72$.

Мощность, потребляемая насосом, кВт

$$N_n = \frac{G_v \times H_{пол}}{\rho \times \eta_n \times 1000} \quad (2,63)$$

$$N_n = \frac{3,4 \times 174530}{998 \times 0,72 \times 1000} = 1,95 \text{ кВт}$$

Устанавливаем асинхронный электродвигатель 4AP160S4B4B с 1500 об/мин, мощностью комплектного электродвигателя 1,6 кВт.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Техничко-экономические обоснование проекта реконструкции воздушной компрессорной станции.

Целью расчета технико-экономического обоснования проектируемого объекта является определение показателей эффективности инвестиционного проекта.

3.2 Методика расчета технико-экономических показателей проекта

Оценка эффективности инвестиционного проекта производится на основе «Методических рекомендаций по оценке инвестиционных проектов и их отбору для финансирования» (утверждены Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике 21.06. 1999 № ВК 477) [7].

Оценка эффективности инвестиционного проекта производится с использованием следующих показателей эффективности: чистый дисконтированный доход (ЧДД); индекс доходности (ИД); внутренняя норма доходности (ВНД); срок окупаемости.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) определяется как сумма текущих (годовых) эффектов за весь расчетный период, приведенная к первому году начала эксплуатации или как превышение интегральных результатов (доходов) над интегральными затратами (расходами).

ЧДД при постоянной норме дисконта вычисляется по формуле [8]:

$$ЧДД = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot a_t - \sum_{t=0}^T K_t \cdot a_t, \text{ млн.руб}$$

где R_t - результаты (доходы), достигаемые на шаге трасчета; Z_t – затраты (без капитальных), осуществляемые на шаге; K_t - капитальные вложения на шаге трасчета; T – продолжительность расчетного периода или горизонт расчета (операционный период - принимается по согласованию с руководителем проекта); a_t - коэффициент дисконтирования.

Если ЧДД инвестиционного проекта положителен, проект является эффективным. Коэффициент дисконтирования определяется по формуле [8]:

$$a_t = 1/(1 + E)^{t-t_m}$$

E – норма дисконта, равная приемлемой для инвестора норме дохода на капитал (принимается по рекомендации консультанта); t – номер шага расчета, как правило, по годам, начиная с момента начала осуществления проекта (строительства, монтажа и др.); t_m – момент приведения денежных средств;

Общие капитальные вложения в проект определяются как сумма дисконтированных капиталовложений [8]:

$$K = \sum_{t=0}^T K_t \cdot a_t$$

K_t – капиталовложения на шаге t расчета.

Индекс доходности (ИД) представляет собой отношение суммы приведенных эффектов к величине капиталовложений [8]

$$ИД = \frac{\sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot a_t}{K_t \cdot a_t}$$

Если $ИД > 1$, то проект эффективен, если $ИД < 1$ – неэффективен.

Внутренняя норма доходности (ВНД) представляет собой ту норму дисконта $E_{ВН}$, при которой величина приведенных эффектов равна приведенным капиталовложениям.

В случае, когда ВНД равна или больше требуемой инвестором нормы дохода на капитал, капиталовложение в данный проект (вариант проекта) оправдано.

Срок окупаемости – минимальный временной интервал (от начала осуществления проекта), за пределами которого интегральный эффект (ЧДД) становится неотрицательным.

3.3 Основные технические характеристики проекта

Проектом реконструкции воздушно-компрессорной станции (ВКС) предлагается перед концевым охладителем разместить теплоутилизатор,

который будет охлаждать воздух до 70 °С и нагревать воду до 60 °С, обеспечивая тем самым потребность теплоты на собственные нужды, что в свою очередь позволяет отказаться от покупки теплоты.

Исходные данные для проведения технико-экономического обоснования проекта модернизации представлены в табл.3.1.

Таблица 3.1 - Исходные данные для расчета показателей эффективности инвестиционного проекта

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Значение параметров
Капитальные вложения в реконструкцию	$\Delta K_{рек}$	тыс.руб	1900
Метод расчета амортизационных отчислений	-	-	линейный
Срок полезного использования	СПИ	лет	30
Число часов использования установленной мощности станции	hy	ч/год	5400
Инвестиционный период	$T_{стр}$	год	1
Операционный период	$T_{опер}$	год	10
Норма дисконта	E	%	11,0
Производительность воздушно-компрессорной станции	$G_{возд}$	Тыс.м ³ /год	320000
Тариф на электроэнергию	$T_{ээ}$	руб/кВт·ч.	4,07
Тариф на тепловую энергию	$T_{тэ}$	Руб/ГДж	290
Количество покупной тепловой энергии на собственные нужды	$\Delta Q_{сн}$	Гкал/год	2150
		ГДж/год	9008,5
Тариф на техническую воду	Ст.в.	Руб/м ³	20
Тариф на хозяйственно-питьевую воду	Сх.п.	Руб/м ³	31
Стоимость оборотной воды	Со.в.	Руб/м ³	3,2

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Значение параметров
Расход оборотной воды	Go.в.	м ³ /ч	410
Потребление технической воды	Gт.в.	м ³ /ч	5,2
Расход воды на хозяйственно-питьевые нужды	Gх.п.	м ³ /ч	6,2
Прочие материальные затраты в долях от издержек на топливо и ремонт	α_M^{PP}	в долях	0,08
Затраты на ремонт в долях от капитальных вложений	$\alpha_{рем}$	в долях	0,02
Ставка налога на имущество	$H_{им}$	%	2,2
Ставка налога на прибыль	$H_{пр}$	%	20

Горизонт расчета принимаем 10 лет. Шаг расчета - один год.

Капитальные затраты в реконструкцию вносятся в один год.

3.4 Расчет технико-экономических показателей проекта

3.4.1 Результаты проекта реконструкции

Реконструкция ВКС приведет:

1. К снижению материальных издержек за счет исключения затрат на покупку тепловой энергии [9]:

$$\Delta I_{тэ} = \Delta Q_{сн} \cdot T_{тэ} = 2150 \cdot 4,19 \cdot 290 = 2612,46 \text{ тыс.руб.} \quad (3,1)$$

2. К снижению прочих материальных затрат за счет исключения составляющей топливных издержек [9]:

$$\Delta I_M^{PP} = \Delta I_{тэ} \cdot \alpha_M^{PP} = 2612,46 \cdot 0,08 = 209 \text{ тыс.руб} \quad (3,2)$$

Результаты проекта (выручка) определяются [9]:

$$R_{t,рек.} = \Delta I_{тэ} + \Delta I_M^{PP} = 2612,46 + 209 = 2821,46 \text{ тыс.руб} \quad (3,3)$$

3.4.2 Затраты проекта реконструкции

3.4.2.1 Капиталовложения в реконструкцию:

Капитальные затраты в новый утилизатор теплоты с учетом монтажных и других работ: $K_{рек} = 1900 \text{ тыс.руб.}$

3.4.2.2 Производственные издержки всего, в том числе [10]:

$$И_t = И_M + И_{AM} + И_{ПР} = 1233,15 + 63,33 + 46,9 = 1343,4 \text{ тыс. руб.}, \quad (3,4)$$

где $И_M$ - материальные затраты, руб.; $И_{AM}$ - издержки на амортизацию основных фондов руб.; $И_{ПР}$ - прочие затраты, руб.

Материальные затраты [10]

$$И_M = \Delta И_{ЭЭ} + \Delta И_{В} + \Delta И_{Р} + \Delta И_M^{ПР} = 65,93 + 1037,88 + 38 + 91,34 = 1233,15 \text{ тыс. руб.}, \quad (3,5)$$

где $\Delta И_{ЭЭ}$ - дополнительные издержки на электроэнергию; $\Delta И_{В}$ - дополнительные издержки на воду; $\Delta И_{Р}$ - дополнительные издержки на ремонт, руб.; $\Delta И_M^{ПР}$ - прочие дополнительные материальные издержки, руб.

Дополнительные издержки на ремонт оборудования [10]

$$\Delta И_{Р} = 0,02 \cdot K_{рек} = 0,02 \cdot 1900 = 38 \text{ тыс. руб.}$$

Дополнительные издержки на электроэнергию

Увеличивается расход электроэнергии на перекачку воды хозяйственно-питьевого назначения [10]:

$$\Delta И_{ЭЭ} = \Delta N_{ЭЭ} \cdot T_{ЭЭ} \cdot h_y = 3 \cdot 4,07 \cdot 5400 = 65,93 \text{ тыс. руб.}, \quad (3,6)$$

где $\Delta N_{ЭЭ}$ - увеличение расхода электроэнергии на собственные нужды

Дополнительные издержки на воду

Увеличивается расход потребляемой воды за счет введения в баланс воды хозяйственно-питьевого назначения [10]:

$$\Delta И_{В} = G_{х.п.} \cdot C_{х.п.} = 6,2 \cdot 31 \cdot 5400 \cdot 10^{-3} = 1037,88 \text{ тыс. руб.}$$

Прочие дополнительные материальные издержки [10]:

$$И_M^{ПР} = (\Delta И_{ЭЭ} + \Delta И_{В} + И_{Р}) \cdot \alpha_M^{ПР} = (65,93 + 1037,88 + 38) \cdot 0,08 = 91,34 \text{ тыс. руб.} \quad (3,7)$$

Амортизационные отчисления [10]

$$И_{ам} = \alpha_{ам} \cdot K_{рек} = 1/30 \cdot 1900 = 63,33 \text{ тыс. руб.} \quad (3,8)$$

где $\alpha_{ам} = 1/СПИ$ – норма амортизационных отчислений

Прочие расходы

Прочие расходы [10]:

$$И_{пр} = Н_{им} + И_{пр,др1} = 41,8 + 5,07 = 46,9 \text{ тыс.руб.} \quad (3,9)$$

где $Н_{им}$ - налог на имущество [10]:

$$Н_{им} = K_{рек} \cdot n_{им} = 1900 \cdot 0,022 = 41,8 \text{ тыс.руб.} \quad (3,10)$$

$И_{пр,др1}$ - другие расходы (командировочные расходы, услуги связи и др.)

$$И_{пр,др1} = И_{ам} \cdot \alpha_{пр1} = 63,33 \cdot 0,08 = 5,07 \text{ тыс.руб.} \quad (3,11)$$

3.4.3 Показатели экономической эффективности проекта реконструкции на первый год эксплуатации (2016 г.) [10]:

Валовая прибыль:

$$П_{в,t} = R_{мод,t} - И_t = 2821,46 - 1343,4 = 1478,1 \text{ тыс.руб.} \quad (3,12)$$

Налог на прибыль:

$$И_{приб,t} = П_{в,t} \cdot n_{приб} = 1478,1 \cdot 0,2 = 295,6 \text{ тыс.руб.} \quad (3,13)$$

Чистая прибыль:

$$П_{ч,t} = П_{в,t} - И_{приб,t} = 1478,1 - 295,6 = 1182,5 \text{ тыс.руб.}$$

Затраты по проекту:

$$\begin{aligned} Z_t &= И_t + И_{приб,t} - И_{ам} = 1343,4 + 295,6 - 63,33 = \\ &= 1575,67 \text{ тыс.руб.} \end{aligned} \quad (3,14)$$

Накопленный дисконтированный чистый поток денежных средств (чистый дисконтированный доход) составит:

$$ЧДД = 5570,7 \text{ тыс.руб.}$$

Индекс доходности для проекта:

$$ИД = \frac{7679,65}{2109,00} = 3,64 \frac{\text{руб.}}{\text{руб.}} \quad (3,15)$$

Срок окупаемости: 2,8 года.

Результаты расчета показателей эффективности инвестиционного проекта за весь операционный период представлены в табл.3.2. Определение срока окупаемости представлено на рис.3.1.

Выводы:

По результатам определения показателей эффективности инвестиционного проекта получены следующие результаты:

Показатели эффективности	Единицы измерения	Численное значение
Чистый дисконтированный доход	тыс.руб	5570,7
Индекс доходности	руб/руб	3,64
Внутренняя норма доходности	%	64,9
Дисконтированный срок	год	2,8

Из приведенных результатов видно, что проект реконструкции воздушной компрессорной станции целесообразен по всем показателям оценки эффективности инвестиционного проекта.

Таблица 3.2- Показатели эффективности инвестиционного проекта за весь операционный период.

Показатели	Операционный период									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Капитальные вложения, тыс.руб	1900,0									
Производственные издержки тыс.руб, всего, в том числе		1343,4	1341,96	1340,57	1339,17	1337,78	1336,39	1334,99	1333,60	1332,21
материальные затраты, всего ,тыс.руб в том числе		1233,15	1233,15	1233,15	1233,15	1233,15	1233,15	1233,15	1233,15	1233,15
дополнительные издержки на электроэнергию тыс.руб		65,93	65,93	65,93	65,93	65,93	65,93	65,93	65,93	65,93
дополнительные издержки на воду тыс.руб		1037,88	1037,88	1037,88	1037,88	1037,88	1037,88	1037,88	1037,88	1037,88
издержки на ремонт, тыс.руб		38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0
прочие материальные затраты, тыс.руб		91,34	91,34	91,34	91,34	91,34	91,34	91,34	91,34	91,34
амортизация основных фондов, тыс.руб		63,33	63,33	63,33	63,33	63,33	63,33	63,33	63,33	63,33
прочие затраты, всего, тыс.руб, в том числе		46,9	45,5	44,1	42,7	41,3	39,9	38,5	37,1	35,7
Прочие другие затраты,тыс.руб		5,07	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07
Налог на имущество,тыс.руб		41,8	40,4	39,0	37,6	36,2	34,8	33,4	32,0	30,7
Остаточная стоимость		1900,0	1836,7	1773,3	1710,0	1646,7	1583,3	1520,0	1456,7	1393,3

Показатели	Операционный период									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
основных фондов, тыс. руб										
Результаты проекта ,тыс.руб		2821,46	2821,46	2821,46	2821,46	2821,46	2821,46	2821,46	2821,46	2821,46
Валовая прибыль, тыс.руб		1478,11	1479,50	1480,89	1482,29	1483,68	1485,07	1486,47	1487,86	1489,25
Налог на прибыль, тыс.руб		295,6	295,9	296,2	296,5	296,7	297,0	297,3	297,6	297,9
Чистая прибыль,тыс.руб		1182,5	1183,6	1184,7	1185,8	1186,9	1188,1	1189,2	1190,3	1191,4
Затраты по проекту, тыс.руб		1575,6	1574,5	1573,4	1572,3	1571,2	1570,1	1569,0	1567,8	1566,7
Чистый поток денежных средств,тыс.руб	1900,0	1245,8	1246,9	1248,0	1249,2	1250,3	1251,4	1252,5	1253,6	1254,7
Норма дисконта	0,110	0,110	0,110	0,110	0,110	0,110	0,110	0,110	0,110	0,110
Коэффициент дисконтирования	1,11	1,00	0,90	0,81	0,73	0,66	0,59	0,53	0,48	0,43
Дисконтированный ЧПДС, тыс.руб/год	2109,0	1245,8	1123,4	1012,9	913,4	823,6	742,6	669,6	603,8	544,5
Накопленный дисконтированный ЧПДС(ЧДД), тыс.руб	-2109,0	-863,2	260,2	1273,1	2186,5	3010,1	3752,7	4422,4	5026,2	5570,7

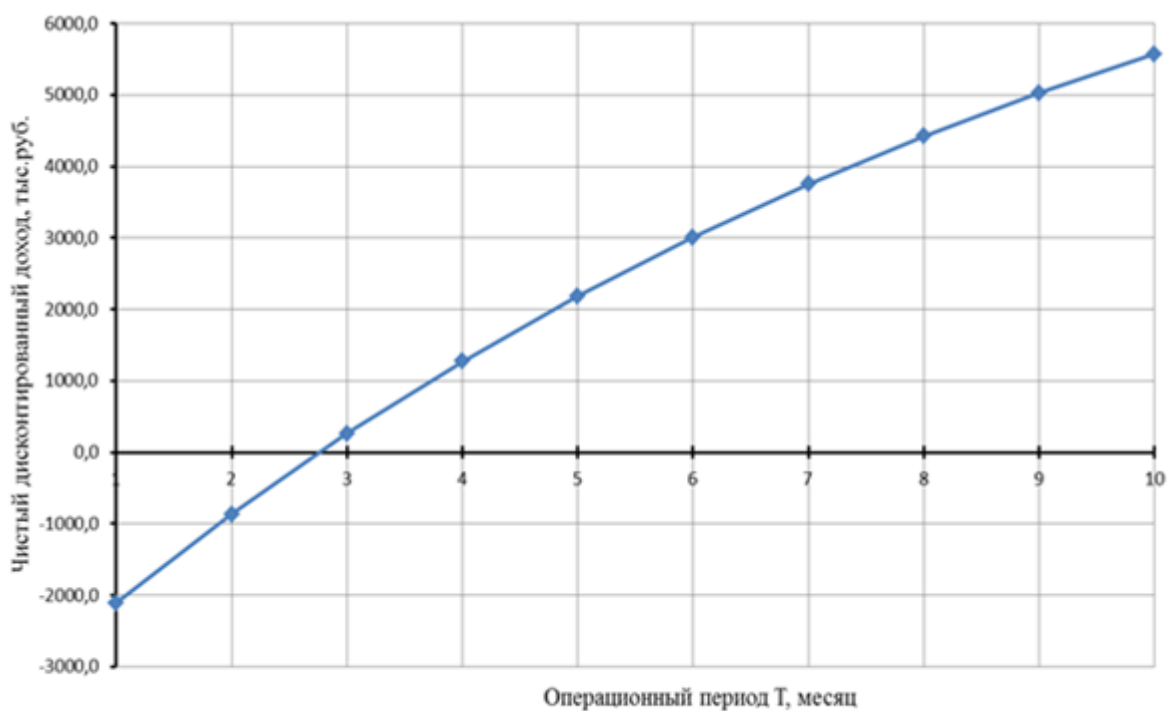


Рис 3.1 - Изменение дисконтированного дохода за операционный период

3.5 Ожидаемые технико-экономические показатели проекта реконструкции воздушно – компрессорной станции

Расчет технико-экономических показателей ведется на первый год эксплуатации - 2014 г.

Исходные данные для расчета:

1 Годовая производительность воздушно-компрессорной станции (ВКС):

$$G_{\text{возд}} = 320000 \text{ тыс.м}^3/\text{год};$$

2 Число часов использования установленной мощности станции

$$h_y = 5400 \text{ ч/год};$$

3.5.1 Расчет технико-экономических показателей проекта

3.5.1.1 Капитальные вложения в реконструкцию ВКС

Смета капитальных затрат представлена в табл. 3.3.

Таблица 3.3- Смета капитальных затрат в реконструкцию ВКС

Приобретаемое оборудование, материалы, СМР и др.	количество	Стоимость единицы оборудования, тыс. руб.	Полная стоимость, тыс. руб.
Оборудование и материалы:			
Теплообменник (не серийный)		504	504
Циркуляционный насос КМ50-32-125/2-5		21	42
Трубы $D_y=100\text{мм}$, $D_y=300\text{мм}$	5т	43,9	21,94
Задвижки $D_y=100\text{мм}$.	4 шт.	23	46
Баки	2 шт.	50	100
Приборы КИПиА	ккомплект		89,46
Строительные и монтажные работы			18,2
Проектные и пуско-наладочные работы			378,4
Сметная стоимость $K_{\text{рек}}$			1900

Для подсчета полных издержек учитывается остаточная стоимость основного оборудования ВКС равная $\Phi_{\text{ост}} = 2500$ тыс. руб (3,16)

Общие основные фонды составят [10]:

$$K_o = K_{\text{рек}} + \Phi_{\text{ост}} = 1900 + 25000 = 26900 \text{ тыс. руб} \quad (3,17)$$

3.5.2 Себестоимость производства сжатого воздуха

Расчет проводится на основании таблицы исходных данных по расчету показателей эффективности инвестиционного проекта (раздел 2 дипломного проекта).

Себестоимость производства тепловой энергии (смета затрат) составляет:

$$\begin{aligned} I_t &= I_M + I_{\text{ЗП}} + I_{\text{НЗП}} + I_{\text{АМ}} + I_{\text{ПР}} = \\ &= 208364,17 + 3927,37 + 1186,1 + 896,67 + 1050 = 215424,3 \text{ тыс. руб.} \end{aligned} \quad (3,18)$$

где I_M - материальные затраты, руб.; $I_{\text{ЗП}}$ - издержки на заработную плату, руб.; $I_{\text{НЗП}}$ - начисления за заработную плату, руб.; $I_{\text{АМ}}$ - издержки на амортизацию основных фондов руб.; $I_{\text{ПР}}$ - прочие затраты, руб.

3.5.3 Материальные затраты

$$\begin{aligned} I_M &= I_{\text{ЭЭ}} + I_{\text{В}} + I_{\text{Р}} + I_M^{\text{ПР}} = 183707,51 + 8684,28 + 538 + \\ &+ 15434,38 = 208364,17 \text{ тыс. руб.,} \end{aligned} \quad (3,19)$$

где: $I_{\text{ЭЭ}}$ - издержки на электроэнергию, руб.; $I_{\text{В}}$ - издержки на воду, руб.; $I_{\text{Р}}$ - издержки на ремонт, руб.; $I_M^{\text{ПР}}$ - прочие издержки, руб.

Издержки на электроэнергию

$$I_{\text{ЭЭ}} = \mathcal{E}_{\text{сн}}^{\text{ГОД}} \cdot T_{\text{э}} = 45136,98 \cdot 4,07 = 183707,51 \text{ тыс. руб/год,} \quad (3,20)$$

Где $\mathcal{E}_{\text{сн}}^{\text{ГОД}}$ - суммарный расход электроэнергии за год; $T_{\text{э}} = 4,07$ руб/(кВт·ч) - тариф на электроэнергию в 2016 г.

Суммарный расход электроэнергии за год равен [8]:

$$\mathcal{E}_{\text{сн}}^{\text{ГОД}} = \mathcal{E}_{\text{сн}} \cdot \tau_y = 8358,7 \cdot 5400 \cdot 10^{-3} = 45136,98 \text{ тыс. кВт·ч/год.} \quad (3,21)$$

Где $\mathcal{E}_{\text{сн}}$ - мощность потребителей собственных нужд (приведены в табл. 3.4)

Таблица 3.4 - Потребители электрической энергии собственных нужд и их характеристики

Название технологического оборудования	Тип электродвигателя	Количество	Мощность, кВт	
			Единицы	Общая рабочая
Эл/дв. компрессоров	СТД–1600/6000–23УХЛЧ	6 (1 резерв)	1600	8000
Насос воды	4APL60S46CY1	3	90	180
Насос масляный	НМШФ	5	3	15
Вентилятор	ВАСВ 15-23-26	2	75	150
КИП и автоматика		-	1,5	1,5
Освещение		-	10	10
Итого:				8358,7

Издержки на воду [8]

$$I_{\text{в}} = (G_{\text{т.в.}} \cdot C_{\text{т.в.}} + G_{\text{обор.}} \cdot C_{\text{обор.}} + G_{\text{х.п.}} \cdot C_{\text{х.п.}}) \cdot \tau_y = (5,2 \cdot 20 + 410 \cdot 3,2 + 6,2 \cdot 31) \cdot 5400 \cdot 10^{-3} = 8684,28 \text{ тыс. руб} \quad (3,22)$$

Издержки на ремонт оборудования [8]

$$I_{\text{р}} = 0,02 \cdot K_0 = 0,02 \cdot 26900 = 538 \text{ тыс.руб/год}$$

Прочие материальные издержки [8]

$$I_{\text{М}}^{\text{ПР}} = (I_{\text{ЭЭ}} + I_{\text{в}} + I_{\text{р}}) \cdot \alpha_{\text{М}}^{\text{ПР}} = (183707,51 + 8684,28 + 538) \cdot 0,08 = 15434,38 \text{ тыс. руб.} \quad (3,23)$$

3.5.4 Затраты на оплату труда:

Расчет заработной платы работникам ВКС представлен в табл. 3.5.

Таблица 3.5 – Заработная плата работникам ВКС [8]

Наименование	Количество работников	Заработная плата на 1 работника, руб/мес.	Заработная плата всего, руб/мес.
Начальник ВКС	1	30250	30250
Оператор машинного зала	6	15730	94380
Мастер ВКС	1	23595	23595
Слесарь ремонтник	4	13915	55660
Дежурный электрик	4	16698	66792
Маслозаправщик фильтров	4	13794	55176
Кладовщик (уборщица)	1	1427,8	1427,8
Итого среднемесячный фонд заработной платы $\Phi_{ЗП}^{мес.}$			327280,8

$$И_{ЗП} = \Phi_{ЗП}^{мес.} \cdot 12 = 327280,8 \cdot 12 = 3927,37 \text{ тыс. руб} \quad (3,24)$$

3.5.5 Отчисления на социальные нужды

$$И_{ЕСН} = И_{ЗП} \cdot Н_{ЕСН} = 3927,37 \cdot 0,302 = 1186,1 \text{ тыс.руб} \quad (3,25)$$

где $Н_{ЕСН}$ - отчисления на социальные нужды (единый социальный налог)

3.5.6 Амортизация основных фондов [8]

$$И_{ам} = \alpha_{ам} \cdot K = 1/30 \cdot 26900 = 896,67 \text{ тыс.руб/год}, \quad (3,26)$$

3.5.7 Прочие расходы

Прочие расходы:

$$И_{пр} = И_{ним} + И_{пр,др1} = 591,8 + 458,2 = 1050 \text{ тыс.руб/год}, \quad (3,27)$$

где - $И_{ним}$ - налог на имущество:

$$И_{ним} = K \cdot n_{ним} = 26900 \cdot 0,022 = 591,8 \text{ тыс.руб/год} \quad (3,28)$$

- $И_{пр,др1}$ - другие затраты (командировочные расходы, услуги связи и др.)

$$\begin{aligned} - И_{пр,др1} &= (И_{ЗП} + И_{ЕСН} + И_{ам}) \cdot \alpha_{пр1} = \\ &= (3710,52 + 1120,58 + 896,67) \cdot 0,08 = 458,2 \text{ тыс. руб.} \end{aligned} \quad (3,29)$$

3.6 Себестоимость получения сжатого воздуха

Себестоимость получения сжатого воздуха [8]

$$S_{\text{нагр}} = I_t / G_{\text{возд}} = 215424,3 \cdot 10^3 / 320000 = 673,2 \text{ руб/тыс.м}^3 \quad (3,30)$$

Ожидаемые технико - экономические показатели проекта представлены в табл.3.6.

Таблица 3.6- Ожидаемые технико-экономические показатели проекта реконструкции воздушно-компрессорной станции

Наименование показателя	Единица измерения	Величина показателя
Установленная производительность станции	м ³ /ч	59260
Годовая производительность станции	тыс.м ³ /год	320000
Число часов использования установленной производительности печи	ч/год	5400
Инвестиции в проект	тыс.руб	1900
Себестоимость производства продукта	тыс.руб	215424,3
Энергоресурсы всего, в том числе	тыс.руб	207826,2
издержки на электроэнергию	тыс.руб	183707,5
издержки на воду	тыс.руб	8684,3
прочие материальные издержки	тыс.руб	15434,4
затраты на оплату труда	тыс.руб	3927,37
отчисления на социальные нужды	тыс.руб	1186,1
содержание и эксплуатация оборудования всего, в том числе	тыс.руб	1434,7
амортизация	тыс.руб	896,67
ремонт	тыс.руб	538
прочие расходы	тыс.руб	1050
Удельная себестоимость продукции	руб/тыс.м ³	673,2
Чистый дисконтированный доход	тыс.руб	5570,7
Индекс доходности	руб/руб	3,64

Наименование показателя	Единица измерения	Величина показателя
Внутренняя норма доходности	%	64,9
Дисконтированный срок окупаемости	лет	2,8

Вывод: полученные значения технико-экономических показателей проекта реконструкции воздушно-компрессорной станции близки к аналогичным показателям действующих объектов. Себестоимость отпускаемой продукции находится на уровне себестоимости других промышленно-технологических объектов данного направления.

4 Социальная ответственность

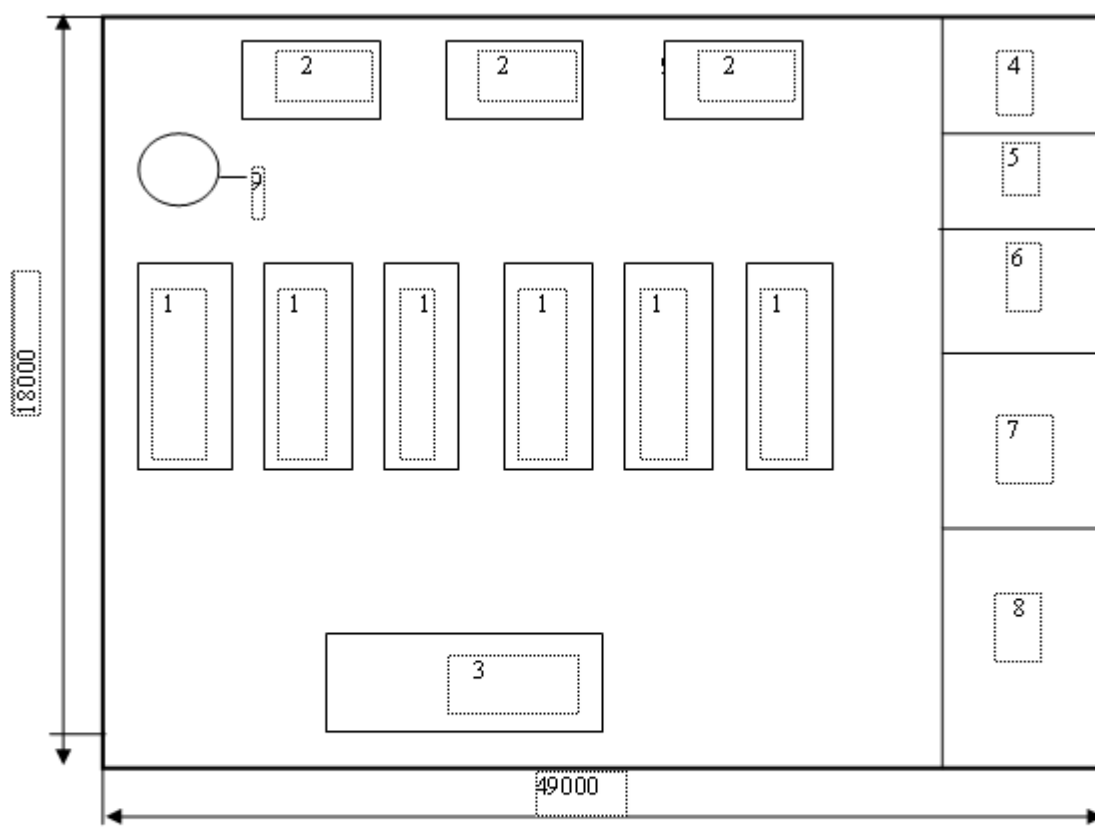
4.1 Экологическая характеристика ВКС

Актуальная задача промышленного производства - охрана окружающей среды от загрязнений.

Промышленные предприятия выбрасывают различные выбросы и отходов в атмосферу, гидросферу и литосферу.

На ВКС технические масла хранятся в расходных баках в отделении зарядки воздушных фильтров.

Источники загрязнения окружающей среды проектируемой реконструкции компрессорной станции показаны на рисунке 4.1.



1 – компрессоры ЦК-250; 2 – установки осушки воздуха; 3 – главный щит управления; 4 – кабинет начальника; 5 – мастерская, слесарная; 6 – комната фильтров; 7 – душевая, туалет; 8 – гардероб; 9 – теплообменник-утилизатор.

Рисунок 4.1 – Источники загрязнения окружающей среды воздушной компрессорной станции

4.2 Анализ схемы и исходные данные

Атмосферу загрязняет:

- оксид алюминия (подсушка силикагеля) $M_{\text{атм}}^{\text{ал}}=0,13\text{т/год}$ (материалы предприятия).

Гидросферу загрязняют [11]:

- сточные воды с нефтепродуктами и пылью от влажной уборки помещений ($0,5 \text{ м}^3/\text{сут.}$ на 1000 м^2 площади), (Na^+);
- сточные воды с (Na^+), сбрасываемые в производственную канализацию (мытьё рук и помывка в душе - $0,18 \text{ т/сутки}$ на работника);
- техническая вода, содержащая масло $2,5\%$ от расхода $95 \text{ м}^3/\text{год}$;
- стоки периодической продувки охладителей воздуха и масла ($0,3\text{-}0,5\%$ от D_B), (Na^+).

Литосферу загрязняют отходы производства и потребления :

I класс опасности – люминесцентные лампы (53 шт.);

III класс опасности – протирочная ветошь ($0,003 \text{ т/год}$ на работника), коксовый орешек ($1,12 \text{ т/год}$ – эксплуатационные данные);

IV класс опасности – ремонтные отходы (15 т/год), производственные отходы ($0,01 \text{ т/год}$ на 1 м^2 площади станции), цеолит ($3,5 \text{ т/год}$ - эксплуатационные данные);

V класс опасности – бытовые отходы ($0,08 \text{ т/год}$ на работника при круглосуточной работе).

Плата за ущерб окружающей среде,

$$Y_i = \sigma_i \cdot \eta_{\text{эк},i} \cdot \Pi_{\text{н},i} \cdot M_{\text{зв},i}, \quad (4.1)$$

$\sigma_i = \sigma_i^{\text{пов}} \cdot \sigma_i^{\text{пон}} \cdot \sigma_i^{\text{инф}}$ – коэффициент, корректирующий плату;

$\sigma_i^{\text{пон}} = 1,2$ - для населенных пунктов;

$\sigma_i^{\text{пон}} = 0,3$ - при применении природоохранных мероприятий;

$\sigma_i^{\text{инф}} = 2,33$ – учитывает общую инфляцию по сравнению с 2003 годом.

$\eta_{\text{эк},i}$ – учитывает экологическую ситуацию в регионе

$$\eta_{\text{эк}}^A = 1,9, \eta_{\text{эк}}^Г = 1,32, \eta_{\text{эк}}^Л = 1,9$$

$M_{\text{зв},i}$ – масса загрязняющих веществ, т/год ,

$M_{\text{зв}}^Л$ – учитывает рассеивание в атмосфере $f \approx 10$,

$\Pi_{\text{н},i}$ – плата нормативная, руб/год .

Штат станции – 21 человек.

ВКС работает - 5380 часов в году.

Площадь производственная – 794 м².

4.3 Защита атмосферы от загрязнения

ВКС имеет чистые технологические и вентиляционные выбросы (в пределах ПДК). ПДК оксида алюминия в воздухе рабочей зоны менее 6 мг/м³.

Масса выбросов оксида алюминия $M_{\text{атм}}^{\text{ал}}=0,12$ т/год.

Норматив платы за его выбросы [11],

$$P_{\text{атм}}^{\text{ал}} = 6,887 \text{ тыс.руб /т}$$

$$U_{\text{атм}}^{\text{ал}} = 1,2 * 1,9 * 2,33 * 6,887 * 0,12 * = 4,36 \text{ тыс. руб/год}$$

На ВКС защиты атмосферы не требуется. Можно разместить фильтры на вытяжной вентиляции.

Оборудование – типовое, все емкости герметичны. Испарение нефтепродуктов отсутствует, нет открытых сборников масла.

Воздух, который стравливается через байпасный клапан в атмосферу, содержит мало вредных примесей.

4.4 Защита гидросферы от загрязнения

Экономический ущерб гидросфере суммируется по всем вредным веществам [11]

$$U_{\text{гид}} = \sum U_{\text{игид}} \quad (4.2)$$

Масло, попадающее в гидросферу (при его потерях 2,5%),

$$M_{\text{гид}}^{\text{мас}} = 0,025 * 3,8 * 5 = 0,57 \text{ т/год}$$

Для нашей станции ПДВ равно 0,15 т/год.

Плата за сброс масла,

$$U_{\text{гид}}^{\text{мас}} = \sigma_a * \eta_{\text{эк}} * P_{\text{гид}}^{\text{мас}} * M_{\text{гид}}^{\text{мас}}, \quad (4.3)$$

здесь σ_a – учитывает характер (ценность) территории, $\sigma_a=1,2$;

$\eta_{\text{эк}}$ – учитывает экологическую ситуацию региона, 1,32;

$P_{\text{гид}}^{\text{мас}}$ - базовый норматив платы, 2755 руб/т.

$$U_{\text{гид}}^{\text{мас}} = 1,2 * 1,32 * 2,33 * 2755 * 0,57 = 5,76 \text{ тыс. руб./год}$$

Площадь всей станции (с площадкой наружной) – 926 м². Количество сбрасываемых вод с нефтепродуктами (концентрация 1%) - 177 м³/год.

Норматив платы базовый за их сброс $\Pi_{\text{гид}}^{\text{н.п.}}=5,56$ тыс. руб. за т. нефтепродукта [11]

Плата за сброс воды после влажной уборки,

$$U_{\text{гид}}^{\text{н.п.}} = 1,2 * 1,32 * 2,33 (177 * 0,01) * 5,51 = 35,6 \text{ тыс. руб/год}$$

Сточные воды от мытья в душе работников (21 чел),

$$M_{\text{гид}}^{\text{Na}^+} = 21 * 0,18 * 340 = 1285 \text{ т/год.}$$

Сточные воды от периодической продувки охладителей воздуха и масла,

$$D_{\text{пр}} = D_{\text{в}} * 0,3 * 0,01 * n * \tau_{\text{уст}},$$

здесь n – число компрессоров,

$$D_{\text{в}} - 325 \text{ т/ч}$$

$$D_{\text{пр}} = 325 * 0,3 * 0,01 * 5 * 5380 = 26203 \text{ т/год}$$

Сточные воды от периодической продувки утилизатора, т/год

$$D_{\text{пру}} = D_{\text{у}} * 0,3 * 0,01 * n * \tau_{\text{уст}},$$

где n – количество утилизаторов,

$$D_{\text{у}} - 14,4 \text{ т/ч}$$

$$D_{\text{пр}} = 14,4 * 0,3 * 0,01 * 1 * 5380 = 232 \text{ т/год}$$

Норматив платы за сброс сточных вод с (Na^+) [11]

$$\Pi_{\text{гид}}^{\text{Na}^+} = 2,5 \text{ руб/т.}$$

Плата за сброс (Na^+),

$$U_{\text{гид}}^{\text{Na}^+} = 1,2 * 1,32 * 2,5 * (1285,2 + 26203 + 232) * 2,33 = 256 \text{ тыс.руб/год}$$

Полный ущерб за сбросы в гидросферу,

$$U_{\text{гид}} = U_{\text{гид}}^{\text{масс}} + U_{\text{гид}}^{\text{н.п.}} + U_{\text{гид}}^{\text{Na}^+} = 5,76 + 35,6 + 256 = 296 \text{ тыс.руб/год.}$$

Вода с содержанием (Na^+) сливается в канализацию.

Рекомендуется:

Меньше применять поверхностно – активные вещества для влажной уборки.

Выполнить нейтрализацию щелочных сточных вод кислотным раствором в металлическом баке.

Стоки канализационные подвергать биологической очистке, а также ультрафиолетовому облучению.

Снижение платы с учетом ПОМ [11],

$$Y_{\text{гид}}^{\text{пом}} = 0,3 * (Y_{\text{гид}}^{\text{н.п}} + Y_{\text{гид}}^{\text{Na}^+}) = 0,3 * (35,6 + 256) = 86 \text{ тыс. руб./год.},$$

Здесь 0,3 – учитывает эффективность экологическую ПОМ

Общая плата за ущерб гидросфере при применении мероприятий по снижению выбросов

$$Y_{\text{гид}} = Y_{\text{гид}}^{\text{пом}} + Y_{\text{гид}}^{\text{масс}} = 86 + 5,76 = 91,7 \text{ тыс. руб./год.}$$

4.5 Защита литосферы от загрязнения твёрдыми отходами

Цеолит

Применяется на ВКС для глубокой осушки воздуха.

Отходы образуются при замене цеолита в 6-и башнях осушки объемом по 3 м³ каждая. Цеолит заменяется 1 раз в 2 года. Насыпной вес - 1,5 т/м³.

Усредненная норма образования отхода 75% от начальной загрузки материала.

Расчетное количество отходов цеолита,

$$M_{\text{лит}}^{\text{ц}} = 6 * 3 * 1,5 * 0,5 * 0,75 = 10 \text{ т/год}$$

Коксовый орешек

Фильтры с коксовым орешком 6 штук используются при предварительной очистке воздуха от масляных загрязнений. Масса кокса в фильтре – 0,043 т. Проектная норма образования отходов с учетом маслянистых загрязнений – 110%.

Кокс заменяется в фильтре 1 раз в 3 месяца.

Общая масса отходов,

$$M_{\text{дит}}^{\text{кок}} = 0,043 * 6 * 4 * 1,1 = 1,109 \text{ т/год}$$

Масса бытовых отходов,

$$M_{\text{дит}}^{\text{быт}} = 0,08 * 21 = 1,68 \text{ т/год}$$

На территории ВКС расположены баки для отходов различных видов. Отходы черного и цветного металлов сдают на переработку.

Другие отходы вывозят на специализированные полигоны, $\Pi_{\text{лит}}^{\text{отх}} = 8 \text{ руб/т.}$

За вывоз бытовых отходов плата,

$$Y_{лит}^{быт} = \sigma_a * \eta_{эк} * P_{лит}^{отх} * M_{лит}^{отх}, \quad (4.4)$$

$$Y_{лит}^{быт} = 1,2 * 1,9 * 2,33 * 8 * 1,68 = 0,07 \text{ тыс.руб / год}$$

Отходы от ремонтных работ (IV класс опасности) вывозятся на полигон (16 т/год), $P_{лит}^{рем} = 248,4 \text{ тыс.руб / т}$

Плата за загрязнение ремонтными отходами,

$$Y_{лит}^{рем} = 1,2 * 1,9 * 2,33 * 248,4 * (16 + 0,01 * 693) = 29,9 \text{ тыс.руб / год}$$

Плата за загрязнение ремонтными отходами с учётом ПОМ,

$$Y_{лит}^{рем}^{ПОМ} = 1,2 * 1,9 * 2,33 * 248,4 * (16 * 0,3 + 0,01 * 693) = 15,3 \text{ тыс.руб / год}$$

Плата за вывоз ветоши и коксового орешка,

$$Y_{лит}^{вет+кок} = 1,2 * 1,9 * 2,33 * (0,003 * 21 + 1,11) * 497 = 3,0 \text{ тыс.руб / год}$$

Плата за утилизацию люминесцентных ламп,

$$Y_{лит}^{лам} = 1,2 * 1,9 * 2,33 * 0,027 * 1740 = 0,246 \text{ тыс.руб / год}$$

Общая плата за ущерб литосфере,

$$Y_{лит} = Y_{лит}^{быт} + Y_{лит}^{рем} + Y_{лит}^{вет+кок} + Y_{лит}^{лам}, \quad (4.5)$$

$$Y_{лит} = 0,07 + 29,9 + 3,0 + 0,246 = 33,2 \text{ тыс. руб/год.}$$

$$Y_{лит}^{ПОМ} = 0,07 + 15,3 + 3,0 + 0,246 = 18,6 \text{ тыс. руб/год.}$$

Природоохранные мероприятия:

Металлические детали и металлолом сдавать на переработку.

Плата с учетом ПОМ за загрязнение литосферы - 18,6 тыс. руб/год

4.6 Эффективность природоохранных мероприятий

Расчетная полная плата за загрязнение окружающей среды [11],

$$Y_{общ} = Y_{атм} + Y_{гид} + Y_{лит} \quad (4.6)$$

$$Y_{общ} = 4,3 + 293 + 33,2 = 330,5 \text{ тыс. руб./год.}$$

Плата с учётом природоохранных мероприятий равна,

$$Y_{общ}^{ПОМ} = 4,3 + 91,7 + 18,6 = 154,6 \text{ тыс. руб./год.}$$

Эффективность экономическая от ПОМ [11],

$$Э_{ПОМ} = (Y_{общ} - Y_{общ}^{ПОМ}) - Z_{ПОМ} + \Delta Д, \quad (4.7)$$

Принимаем $Z_{ПОМ} \approx \Delta Д,$

здесь $Z_{\text{ПОМ}}$ - расходы на ПОМ, тыс.руб./год,

ΔD - дополнительный доход предприятия от ПОМ, тыс.руб./год.

$$Z_{\text{ПОМ}} = K * E_n + И, \quad (4.8)$$

где K – капитальные вложения в ПОМ, тыс.руб./год.

$E_n = 0,12$ – средняя норма дисконтирования, год⁻¹,

$И$ – эксплуатационные затраты,

$$Z_{\text{ПОМ}} = 35 * 0,12 + 7 = 11,2 \text{ тыс. руб./год.}$$

$$\mathcal{E}_{\text{ПОМ}} \approx 330,5 - 154,6 \approx 175,9 \text{ тыс. руб./год.}$$

Предлагаемые ПОМ по защите окружающей среды:

- атмосфера: установить осевые или крышные вытяжные вентиляторы с фильтрами для удаления паров оксида алюминия из рабочей зоны ВКС.
- гидросфера: очищать на предприятии сточную воду и использовать ее для технического водоснабжения. осуществлять нейтрализацию щелочных сточных вод подкислением.
- литосфера: металлические детали и различный металлолом сдавать на утилизацию.

4.7 Безопасность эксплуатации воздушной компрессорной

Здание ВКС, основное и вспомогательное оборудование, трубопроводы, арматура, технологический процесс должны отвечать требованиям пожарной безопасности, безопасным условия труда.

Это - рациональное использование помещений, безопасная эксплуатация оборудования, арматуры, трубопроводов, защита работников от вредных и опасных факторов, обеспеченность средствами пожаротушения, сигнализации, индивидуальной защиты.

Анализ опасных и вредных факторов

Эксплуатация компрессоров осуществляется в соответствии с инструкциями завода-изготовителя и утвержденным технологическим регламентом.

Помещение ВКС, электрооборудование отвечает требованиям «Правил а устройства и эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов».

Компоновка оборудования ВКС обеспечивает удобство его монтажа, обслуживания и ремонта с использованием средств механизации.

Уровень шума на рабочих местах не должен превышать 85 дБ .

Допустимые вибрации воздухопроводов имеют частоту до 40 Гц при амплитуде колебаний выше 0,2 мм.

Все основное оборудование обязательно заземлено.

За каждой ступенью компрессора размещают предохранительные клапаны, срабатывающие при превышении давления на 15 %.

Амплитуда вибрации компрессоров и двигателей не более 0,1 мм.
Характерные причины вибрации:

- износ вкладышей подшипников,
- неточная центровка вала,
- плохое крепление на фундаменте.

В результате анализа установлены наиболее вредные и опасные факторы:

- Электрическое оборудование и освещение;
- Шум;
- Сосуды под давлением.

По этим факторам следует проводить инженерные решения.

4.7.1 Расчет сосудов под давлением

Опасность - наличием сосудов и трубопроводов с высоким давлением воздуха.

Проверка на прочность ресивера диаметром 2м, толщиной стенки 10мм и полусферического днища 14мм.

Толщина стенки обечайки с давлением s_p при допускаемом давлении $[p]$ [12]:

$$s_p = \frac{p * D}{2 * [\sigma] * \varphi - p},$$

$$[p] = \frac{2 * [\sigma] * \varphi * (s - c)}{D + s - c},$$

где $[\sigma]$ – допустимое напряжение стали 20 при 60 С°, $[\sigma] = 144,5 \text{ МПа}$ [12];

φ – прочность сварного шва, $\varphi = 1$;

s – толщина стенки обечайки, $s = 10 \text{ мм}$;

c – прибавки к расчётным толщинам, $c = 0,002 \text{ м}$;

D – диаметр обечайки, $D = 2 \text{ м}$;

p – рабочее давление. $p = 0,9 \text{ МПа}$.

$$s_p = \frac{0,9 * 2}{2 * 144,5 * 1 - 0,9} = \frac{1,8}{288,1} = 0,0065 \text{ м},$$

$$s = s_p + c = 0,0065 + 0,002 = 0,0085 \text{ м}$$

Расчётная толщина 0,0085м меньше действительной 0,01м. Значит, стандартный ресивер отвечает требованиям прочности.

Допускаемое избыточное давление [12]:

$$[p] = \frac{2 * 144,5 * 1 * (10 - 2)}{2000 + 10 - 2} = 1,15 \text{ МПа},$$

это удовлетворяет рабочим параметрам, $p < [p]$.

Толщина полусферического днища [12]:

$$s_{1p} = \frac{p * R}{2 * \varphi * [\sigma] - 0,5p} \text{ м},$$

$$[p] = \frac{2 * [\sigma] * \varphi * (s_1 - c)}{R + 0,5 * (s_1 - c)} \text{ МПа},$$

здесь φ , $[\sigma]$, p - те же значения, что и для обечайки;

R – радиус кривизны вершины днища, $R = 2,5\text{м}$;

$c = 0,003\text{м}$.

$$s_{1p} = \frac{0,9 * 2,5}{2 * 1 * 144,5 - 0,5 * 0,9} = \frac{2,25}{288,55} = 0,008 \text{ м},$$

$$s = s_{1p} + c = 0,008 + 0,003 = 0,011 \text{ м}.$$

Имеем $14 > 11$, требование удовлетворяется.

$$[p] = \frac{2 * 144,5 * 1 * (14 - 3)}{2,5 + 0,5 * (14 - 3)} = \frac{3179}{2505,5} = 1,27 \text{ МПа},$$

При $[p] > p$. принятое полусферическое днище соответствует требованиям.

Результаты расчётов сосудов под давлением, приведены в таблице 4.2

Таблица 4.2 – Расчетные величины сосудов под давлением

Наименование оборудования	Критическое давление, (МПа),	Допустимое напряжение металла, (МПа)	Коэффициент прочности сварочного шва	Толщина стенки обечайки, м	Прибавки к расчётным толщинам, м	Внутренний диаметр обечайки, м
Холодильник	2,15	140	0,9	0,003	0,00115	0,6
Адсорбер	1,8	180	1,00	0,0093	0,003	0,407
Масло-отделитель	2,5	147	1,00	0,0084	0,002	0,56
Ресивер	1,15	144,6	1,00	0,01	0,002	2,0

4.8 Расчет производственного освещения

Необходимо руководствоваться требованиями СНиП по

проектированию естественного и искусственного освещения, требованиями отраслевых норм проектирования освещения.

Световой поток:

$$\Phi = \frac{E * K * S * Z}{N * n * u} ,$$

где E – нормируемая освещенность по СНиП 23-05-95 (E = 50 лк);

K - коэффициент запаса на загрязнение и старение лампы, K = 1,5;

S – площадь помещения, S = 767 м²;

Z – учитывает неравномерность освещения, Z = 1,2;

N – число светильников;

n – количество ламп в светильнике;

u – степень использования светового потока,

$$i = \frac{S}{H_n * (A + B)} ,$$

здесь S – площадь помещения, м²;

H_п – высота подвеса светильника, H_п = 6 м;

A, B – размеры помещения, A = 42 м; B = 18 м.

$$i = \frac{756}{6 * (42 + 18)} = 2,1$$

По СНиП 23-05-95 при ρ_п = 50%, ρ_с = 30%, ρ_р = 10% находим u = 52%.

По СНИП 23-05-95 принимаем лампу ДРЛ мощностью 250Вт и находим светораспределение Д.

Оптимальное расстояние между светильниками,

$$L_c * H_n \leq L \leq L_z * H_n ,$$

Здесь L_с и L_з – относительные выгодные расстояния между светильниками. L_с = 1,2 - 1,6; L_з = 1,6-2,1.

$$1,2 * 6 \leq L \leq 1,6 * 6 ,$$

$$7,2 \leq L \leq 9,6$$

Примем L = 8 м.

Расстояние от стены до светильника возьмем 0,5L.

Число светильников в плане помещения.

$$N_A = \frac{A - 2 * L_A}{L} + 1 = \frac{42 - 2 * 4}{8} + 1 = 5,25 \approx 5 \text{ шт.},$$

$$N_B = \frac{B - 2 * L_B}{L} + 1 = \frac{18 - 2 * 4}{8} + 1 = 2,25 \approx 2 \text{ шт.},$$

Общее число светильников,

$$\Sigma N = N_A * N_B. \Sigma N = 5 * 2 = 10 \text{ шт.}$$

$$\Phi = \frac{50 * 1,5 * 756 * 1,2}{10 * 1 * 0,52} = 13084 \text{ лм.},$$

Принимаем светильник РСП – 46-250-001 с лампой ДРЛ мощностью 250 Вт и световым потоком 13200 лм.

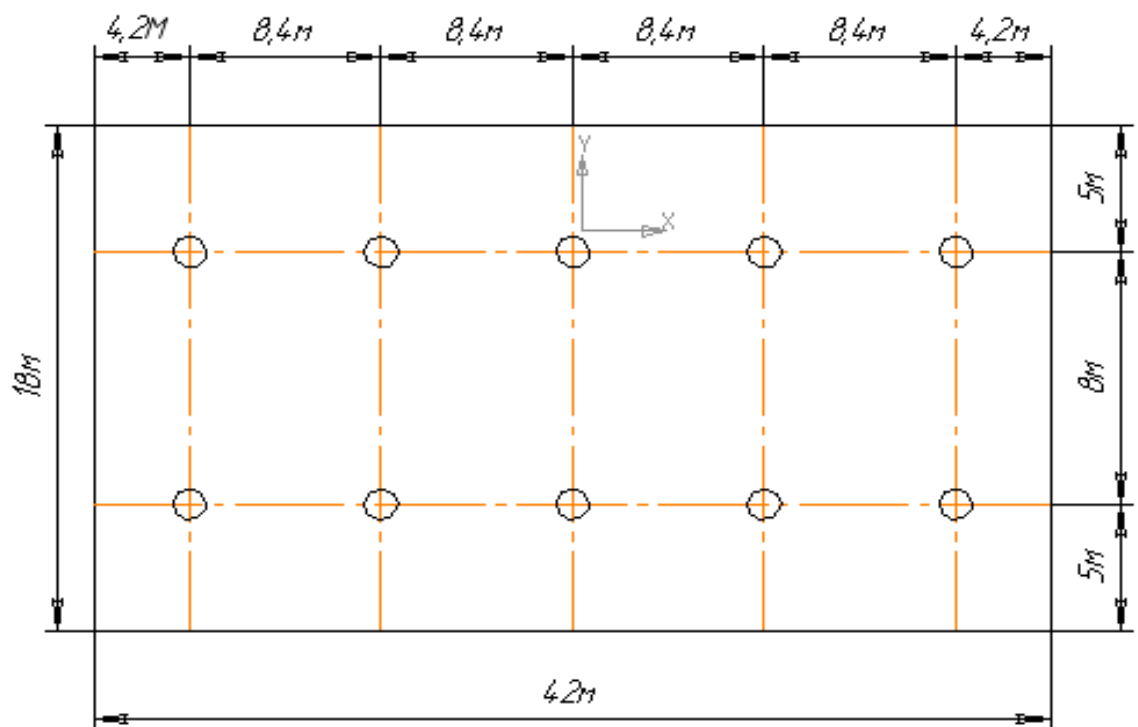


Рисунок 4.1 – Схема размещения светильников.

4.9 Расчет производственного шума

Основные характеристики шума - частотный спектр, интенсивность звука и звуковое давление. При расчетах по шумопоглощению основными параметрами являются звуковое давление в Па и его уровень в дБ.

Для закрытых помещений с внутренним источником шума ожидаемый уровень звукового давления в расчетной точке L, дБ,

$$L = L_{p\Sigma} - 15 \lg \tau + 10 \lg \Phi - \beta_A - 10 \lg \Omega - \Delta \ell_p,$$

здесь $L_{p\Sigma}$ – суммарное значение активного уровня звуковой мощности , дБ;

Φ – фактор направленности источника шума, при равномерности звукового излучения равен 1;

B_A – затухание звука в атмосфере, равное 6 [9];

Ω – пространственный угол излучения, принимаемый для ВКС 5 [9]

$\Delta\ell_p$ – снижение уровня звуковой мощности при прохождении звука через стены и покрытие с учетом площади стен и объема помещения, дБ,

$$\Delta\ell_p = 10 \lg B - 10 \lg S + R_i ,$$

здесь B – постоянная помещения, m^2

$$B = B_{1000} * \mu ,$$

здесь B_{1000} – постоянная помещения на частоте 1000 Гц ,составляет 1/20 кубатуры помещения;

μ - частотный множитель, взят 1;

S – площадь ограничивающей конструкции, $1035m^2$;

$$\Delta\ell_p = 10 \lg 300 - 10 \lg 1035 + 10 = 4,6 \text{ дБ}$$

Таблица 4.3 – Уровни звуковой мощности, дБ

Тип оборудования	Среднегеометрическая частота, Гц						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
Компрессор ЦК – 250/7	14	26	60	70	75	70	70

Ожидаемый уровень звукового давления определяется для максимальной звуковой мощности оборудования 75 дБ, при частоте 1000 Гц.

Таблица 4.4 – Коэффициент затухания β_a как функция частоты.

Среднегеометрическая частота активных полос, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
β_a , дБ	0,3	0,7	1,5	3	6	12	24	48

Значит, уровень звукового давления, дБ,

$$L = 75 - 15 \lg 50 + 10 \lg 1 - 6 - 10 \lg 5 - 4,6 = 31,9 \text{ дБ}$$

Видно $L = 31,9$ дБ ниже допустимого 87,5 дБ.

Допустимые уровни звукового давления на рабочих местах приведены в ГОСТ 12.1.003 – 91, ГОСТ 12.2.024 – 92.

4.10 Промышленная санитария и личная гигиена

Вентиляция

Параметры воздуха рабочей зоны (температура, скорость движения, относительная влажность) соответствуют ГОСТ 12.4.021 – 91 СС БТ).

Концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны регламентируется ГОСТ 12.1.005 – 91. должен быть оборудован Вентиляция машинного зала регламентируется "Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий" СН 245 –93.

Освещение

Все помещения ВКС имеют естественное и искусственное освещение по СНиП 23-05-95. Естественное освещение нормируется по коэффициенту естественной освещенности (КЕО).

Защита от шума и вибрации

Источники вибрации и шума на ВКС– воздушные компрессоры и водяные насосы. По ГОСТ 12.1.003 – 92 величина вибраций определяется колебательной скоростью относительно порогового значения $5 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}$.

Защита от вибрации: центровка роторов насосов, валов компрессоров, выполнение щитов управления со звукопоглощающим покрытием, обеспечение персонала средствами индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.002 – 91.

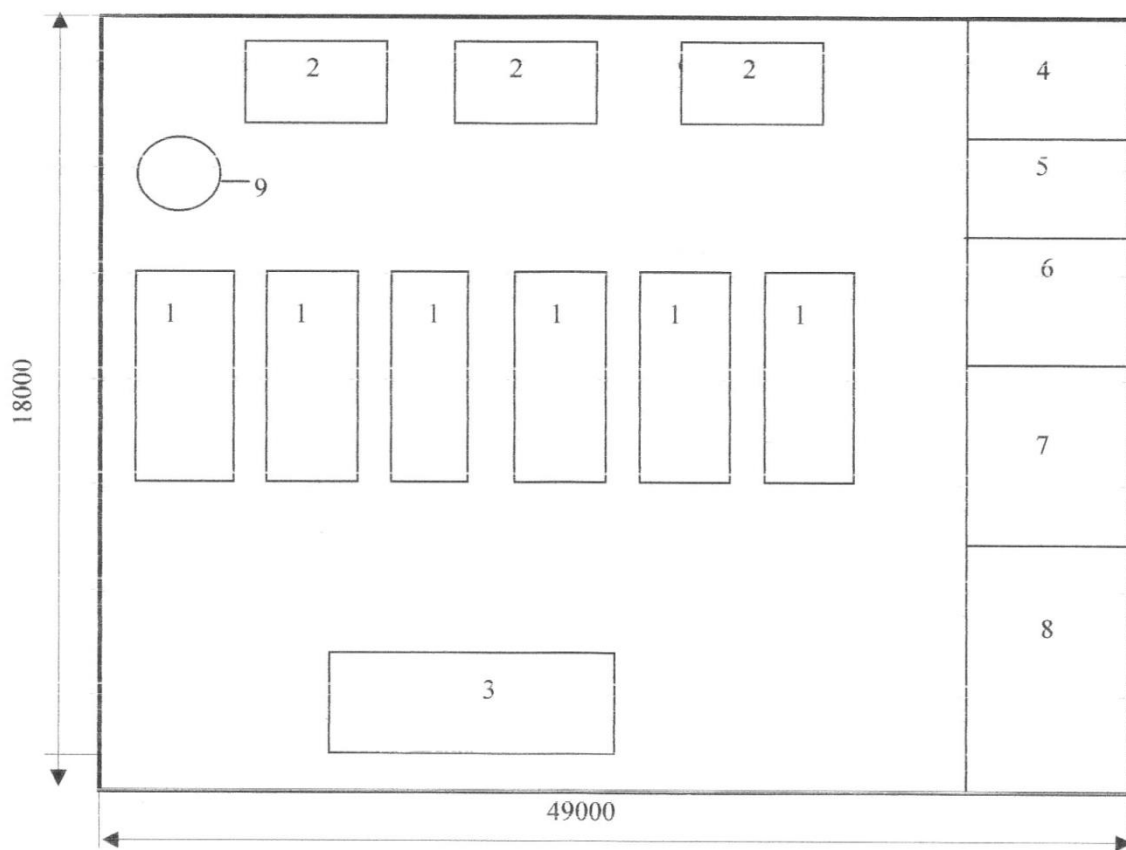


Рисунок 4.2 – Схема расположения источников шума ВКС

Шум вызывает утомляемость работника, способствует травматизму и ошибкам в принятии решений.

Может понижаться острота или потеря слуха.

Человек воспринимает колебания с частотой 20000 Гц. При колебаниях ниже 20 Гц (инфразвук) и выше 20000 Гц (ультразвук) слух их не воспринимает, хотя они отрицательно действуют на организм человека. Уровень белого порога равен 130 дБ при частоте 1000 Гц.

4.11 Электробезопасность

Электробезопасность – система защиты рабочего персонала от опасного воздействия электрического тока.

Электрооборудование должно соответствовать ГОСТ 12.2.007.0 – 92, ГОСТ 12.2.007.7 – 91 и отвечать требованиям ССБТ ГОСТ12.2.007.4 – 92. Защита от поражения электрическим током обеспечивается инженерно – техническими мероприятиями по ГОСТ 12.1.009 – 93.

Компрессор и его электрооборудование, электроинструмент заземляются по ГОСТ 12.2.007.0 – 92 и ГОСТ 12.1.030 – 92.

Сопротивление электроизоляции должно соответствовать нормам ПУЭ – 93.

Работающие с электроинструментом обеспечиваются диэлектрическими резиновыми перчатками и резиновой обувью.

При перерывах в работе, а также обесточке электроинструмент отключается.

4.12 Пожаровзрывобезопасность

Пожаровзрывобезопасность – защита персонала и зданий от воздействия взрыва и пожара. Пожаровзрывобезопасность промышленных объектов, электроустановок регламентируется ГОСТ – 12.1.037 – 93 и ГОСТ 12.1.010 –93, СНиПом.

Машинный зал ВКС должен иметь противопожарную технику по ГОСТ 12.4.009 – 92, а также средства молниезащиты.

Источники взрыва и пожара:

- открытый огонь и искры,
- высокая температура,
- повреждение зданий и оборудования,
- несоблюдение техники пожарной безопасности.

Категория производства по пожаровзрывобезопасности определяется по СНиП 21-01-97.

- машинный зал – В, II степень огнестойкости
- помещение главного щита – Д, II степень огнестойкости
- хозяйственно – бытовые помещения – В, II степень огнестойкости

Защитные меры: теплоизолировать горючую среду и оборудование, иметь средства пожаротушения и пожарной сигнализации; иметь молниезащиту.

4.13 Техника безопасности ВКС

К монтажу и обслуживанию компрессора допускается персонал, не моложе 18 лет, изучивший правила ТБ, инструкцию по эксплуатации и сдавший экзамен комиссии. Повторный инструктаж проводится 1 раз в 6 месяцев. Рабочие каждый год проходят обучение по безопасности труда и пожарной безопасности, ИТР - 1 раз в 2 года.

Вращающиеся части компрессорных агрегатов, вспомогательных аппаратов должны иметь защитные ограждения согласно ГОСТ 12.2.062 – 92.

Для ремонтных работ в машинном зале оборудуются специальные площадки и размещаются грузоподъемные механизмы в соответствии с "Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов"

Такелажные работы соответствуют требованиям ГОСТ 12.3.009 – 93. Трубопроводы с $t > 45^{\circ}\text{C}$ и установленные на высоте менее 2,0 м теплоизолируются с ограничением доступа.

Сигнально – предупредительная окраска и знаки безопасности выполняются по ГОСТ 12.4.026 – 91.

Эргономика

При организации рабочих мест соблюдается целесообразность их размещения в производственных помещениях, безопасное расположение людских и материальных потоков на рабочих местах, рациональная компоновка оборудования, ограничение контакта персонала с опасными и вредными факторами [5].

Оператор около 90% информации получает визуально. Часто используемые приборы располагают ближе к оператору.

Для облегчения работы оператора шкалы приборов выполняют горизонтальными.

Цветовая гамма вызывает различное физиологическое воздействие на работника.

Яркая окраска концентрирует внимание. Так пожарное оборудование имеет красный цвет с белыми полосами, электрокары и тележки - красный с черными полосами. Кнопки выключения – красного цвета.

Правильная окраска уменьшает утомляемость. Броские предупреждающие цвета повышают безопасность труда.

Оптимальные цвета выбираются по « Указаниям по проектированию цветовой отделки интерьеров промышленных предприятий» (СН 181-70).

Повышает работоспособность чередование периодов работы и отдыха. Устраивают дополнительных 2 перерыва за смену по 5 – 10 мин. .

Заключение

Выполнен проект ВКС с центробежными компрессорами общей производительностью $1500 \frac{м^3}{мин}$.

Разработана схема установки теплоутилизатора на сжатом воздухе, устанавливаемого за любым из компрессоров. Выбрана и рассчитана конструкция утилизатора для нагрева воды.

Выбрано основное и вспомогательное оборудование компрессорной.

Рассмотрены аспекты безопасной эксплуатации компрессорной.

Оценены массовые выбросы вредных веществ, определена плата за наносимый ущерб.

Найдены технико-экономические характеристики реконструированной ВКС.

Экономический эффект достигается сокращением затрат на покупку тепловой энергии.

Список использованных источников

1. Борисов Б.Г. Системы воздухообеспечения промышленных предприятий [Текст]/ Б.Г.Борисов, Н.В. Калинин, В.А. Михайлов-МЭИ, 2004.-180с.
2. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. – М.: Металлургия, 1970. – 78 с.
3. Бажан П.И. Справочник по теплообменным аппаратам/ П.И. Бажан, Г.И., Г.Е. Каневец. - М.: Машиностроение,1989.-366 с.
4. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей [Текст]/ Н.Б. Варгафтик. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
5. Системы воздухообеспечения предприятий: Учеб. пособие для вузов/ А.М. Парамонов, А.П. Стариков.-СПб.: Лань, 2011.-160 с.
6. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии / Ю.И. Дытнерский. – М.: Химия, 1991. – 493 с.
7. «Методических рекомендаций по оценке инвестиционных проектов и их отбору для финансирования» (утверждены Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике 21.06. 1999 № ВК 477).
8. Виленский П. Л., Лившиц В. Н., Смоляк С. А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика. — М.: Дело, 2008. — 1104 с. — ISBN 978-5-7749-0518-8.
9. Четыркин Е. М. Финансовая математика. — М.: Дело, 2008.
10. Гацалов М.М.. Современный экономический словарь-справочник. - Ухта: УГТУ,2002.-371с., 2002.
11. Российская Федерация. Постановление Правительства РФ №344 от 12.06.2003г.: О нормах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ, сбросы загрязняющих веществ в водоемы, размещение отходов производства и потребления.— М. 2003.—6 с.

12. Правила устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов. – М.: Металлургия, 1985. – 136 с.