

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра хімічної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
ОП "Обладнання нафто- та газопереробних виробництв"

Тема роботи: Газофракціонуюча установка. Розробити апарат повітряного охолодження для конденсації бутанової фракції

Виконав:
студент групи ХМ-71/3хо.і

Тайланов Бекзод

підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, ст. викладач

Острога Руслан Олексійович

підпис, дата

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра хімічної інженерії

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
Освітня програма "Обладнання нафто- та газопереробних виробництв"

Курс 4 Група ХМ-71/3хо.і Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту Тайланову Бекзоду

1 Тема роботи: Газофракціонуєча установка. Розробити апарат повітряного охолодження для конденсації бутанової фракції

2 Вихідні дані: Розробити апарат повітряного охолодження (АПО) для конденсації парів бутану. Продуктивність апарату 125 т/добу. Бутан потрапляє в АПО при температурі конденсації під тиском 0,4 МПа. Температура атмосферного повітря становить 20°C.

3 Перелік обов'язкового графічного матеріалу (аркуші А1):

- | | |
|---|------------|
| 1. Технологічна схема газофракціонуєчої установки | – 1,0 арк. |
| 2. Складальне креслення АПО | – 1,0 арк. |
| 3. Складальне креслення теплообмінної секції | – 1,0 арк. |

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р.О. Острога, М.С. Скиданенко, Я.Е. Михайловський, А.В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Эмирджанов Р.Т. Основы технологических расчетов в нефтепереработке и нефтехимии / Р.Т. Эмирджанов, Р.А. Лемберанский . – М. : Химия, 1989. – 192 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

Етапи та розділи проектування	ТИЖНІ				
	1	2,3	4,5	6,7	8
1 Вступна частина	x				
2 Технологічна частина		xx			
3 Проектно-конструкторська частина			xx		
4 Розробка креслень				xx	
5 Оформлення записки					x
6 Захист роботи					x

6 Дата видачі завдання

жовтень 2020 р.

Керівник

підпис

ст. викл. Острога Р.О.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 50 с., 9 рис., 1 приложение, 16 источников.

Графические материалы: технологическая схема газофракционирующей установки, сборочный чертеж аппарата воздушного охлаждения, сборочный чертеж теплообменной секции – всего 3 листа графической части формата А1.

Тема квалификационной работы: «Газофракционирующая установка. Разработать аппарат воздушного охлаждения для конденсации бутановой фракции».

В работе приведено описание технологической схемы газофракционирующей установки. Рассмотрены теоретические особенности процессов воздушного охлаждения, изучена конструкция и принцип действия аппарата воздушного охлаждения, обоснован выбор конструкционных материалов для изготовления основных деталей и узлов аппарата, приведены их физико-механические и технологические свойства. Выполнен технологический и конструктивный расчеты процесса и аппарата, выбрано вспомогательное оборудование. Проведенными проверочными расчетами на прочность и герметичность подтверждена механическая надежность проектируемого аппарата. Отдельным разделом представлены организации монтажных и ремонтных работ. В разделе «Охрана труда» рассмотрены несчастные случаи, связанные с производством, а также порядок их расследования и специальное расследование.

Ключевые слова: БУТАН, КОНДЕНСАЦИЯ, ГАЗОФРАКЦИОНИРУЮЩАЯ УСТАНОВКА, ВОЗДУХ, ОРЕБРЕНИЕ, МОНТАЖ, РЕМОНТ, НЕСЧАСТНЫЙ СЛУЧАЙ.

Содержание

	С.
Введение	5
1 Технологическая часть	6
1.1 Описание технологической схемы ГФУ	6
1.2 Теоретические основы теплообменных процессов	8
1.3 Описание конструкции аппарата воздушного охлаждения и выбор основных конструкционных материалов	12
2 Технологические расчеты процесса и аппарата	16
2.1 Технологические расчеты	16
2.2 Конструктивные расчеты	25
2.3 Расчет аэродинамического сопротивления	26
2.4 Выбор вспомогательного оборудования	28
3 Расчеты аппарата на прочность и герметичность	34
4 Монтаж та ремонт аппарата	38
4.1 Монтаж аппарата	38
4.2 Ремонт аппарата	40
5 Охрана труда	43
Список использованных источников	49
Приложение – Спецификации к графической части проекта	

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Тайланов</i>			Аппарат воздушного охлаждения <i>Пояснительная записка</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Острога</i>					4	50
<i>Реценз.</i>						<i>СумГУ, ХМ-71/Зхо.и</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>		<i>Складинский</i>						

Введение

Нефтехимическая промышленность выпускает достаточно разнообразную по ассортименту и конкурентоспособную на мировом рынке продукцию. Данные товары получают на предприятиях, которые представляют собой сложный технологический комплекс [1].

Номенклатура нефтехимического оборудования достаточно широка: теплообменники, колонны, сушилки, реакционные аппараты, сепараторы, емкостная аппаратура, аппараты высокого давления и прочее. Каждая из этих групп делится на типы, а последние – на десятки типоразмеров [1].

Теплообменные аппараты предназначены для проведения процессов теплообмена при необходимости нагрева или охлаждения технологической среды или с целью утилизации тепла.

Теплообменная аппаратура составляет значительную часть технологического оборудования в нефтехимической промышленности. Удельный вес на предприятиях нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности теплообменного оборудования составляет в среднем 50 %. Такой значительный объем теплообменного оборудования объясняется тем, что практически все основные процессы данных технологий связаны с необходимостью подвода или отвода тепла [2].

В нефтехимической промышленности большую часть теплообменных аппаратов составляют конденсаторы и холодильники. Использование для этих целей аппаратов водяного охлаждения, например кожухотрубных или оросительных, связано со значительными затратами воды и, следовательно, с большими эксплуатационными расходами. Для этих целей применяются специальные теплообменные установки – аппараты воздушного охлаждения (АВО) [2].

В данной квалификационной работе спроектирован аппарат воздушного охлаждения, который предназначен для конденсации паров бутана. Данный проект выполнен в соответствии с методическими указаниями [3].

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

Кубовый продукт частично испаряется и возвращается в колонну в виде парового орошения, а остальная часть – идет на дальнейшую переработку.

1.2 Теоретические основы теплообменных процессов

Теоретические основы теплообменных процессов воздушного охлаждения, которые представлены в этом разделе, выполнены на основании анализа литературных источников [1, 2, 5].

В конденсаторах основной задачей процесса является конденсация газа или пара, при этом происходит процесс фазового перехода горячего теплоносителя и получения жидкости за счет передачи тепла от горячего теплоносителя к холодному и нагрева последнего.

В зависимости от размещения теплообменной поверхности различают аппараты воздушного охлаждения:

- горизонтальные АВГ (рис. 1.2);
- вертикальные АВВ (рис. 1.3);
- малопоточные АВМ (рис. 1.4);
- зигзагообразные АВЗ (рис. 1.5).

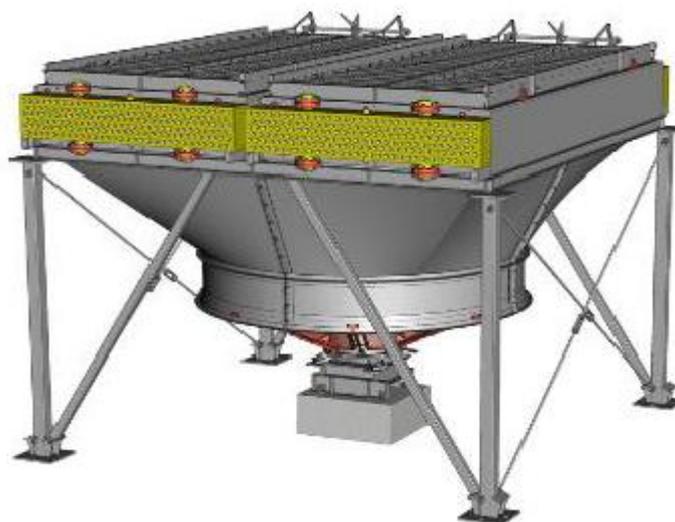


Рисунок 1.2 – Конструкция аппарата воздушного охлаждения АВГ



Рисунок 1.3 – Конструкция аппарата воздушного охлаждения АВВ

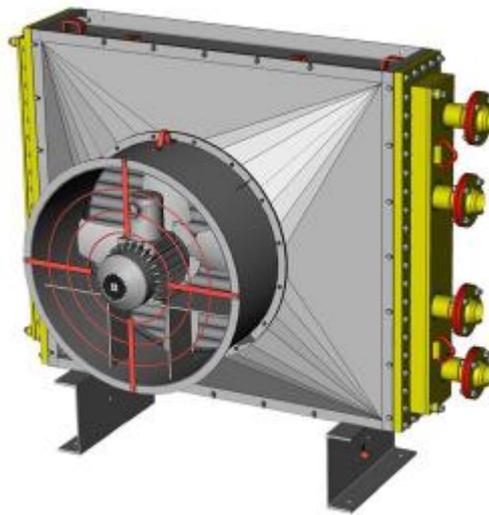


Рисунок 1.4 – Конструкция аппарата воздушного охлаждения АВМ

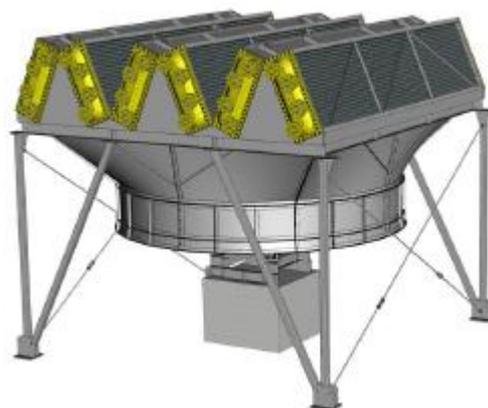


Рисунок 1.5 – Конструкция аппарата воздушного охлаждения АВЗ

В нашем случае холодным теплоносителем является воздух, а горячим – пары бутана. Следовательно, конденсация бутана является целевым процессом, а нагрев атмосферного воздуха – побочным.

Движущей силой любого теплообменного процесса является разность температур сред, при наличии которой тепло распространяется от среды с большей температурой к среде с меньшей температурой. Тела, участвующие в теплообмене, называются теплоносителями. Теплоносители с более высокой температурой называют горячими, теплоносители с более низкой температурой – холодными.

Процесс теплопередачи является сложным и многостадийным, он включает в себя как стадии переноса тепла (теплоотдачу) в пределах каждого из теплоносителей, так и стадии переноса тепла через границу раздела фаз – поверхность теплопередачи (площадь, через которую происходит передача тепла от горячего теплоносителя).

В основу процессов теплопереноса положен основной кинетический закон, согласно которому скорость теплопередачи прямо пропорциональна движущей силе и обратно пропорциональна термическому сопротивлению:

$$u_m = \frac{Q}{F \cdot \tau} = \frac{\Delta t_c}{R_m}, \quad (1.1)$$

где Q – количество передаваемого тепла, Дж;

F – поверхность теплопередачи, m^2 ;

τ – продолжительность процесса, с;

Δt_c – средняя разность температур между теплоносителями, К;

R_m – термическое сопротивление процессу теплопередачи.

Для установившегося процесса (если температуры в сходственных точках в теплоносителях не изменяются по времени) количество передаваемого тепла в единицу времени (тепловой поток) на основании уравнения (1.1):

$$Q = k_m \cdot \Delta t_c \cdot F, \quad (1.2)$$

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

где k_m – средний для теплового процесса коэффициент теплопередачи, характеризующий скорость процесса теплопередачи, $k_m = 1/R_m$.

Зависимость (1.2) называют основным кинетическим уравнением процесса теплопередачи.

Очень важна также схема движения теплоносителей. От нее сильно зависит характер процесса. Существует несколько схем движения потоков теплоносителей. Прямоточная схема – горячий теплоноситель взаимодействует с холодным через стенку, при этом потоки направлены параллельно друг другу и в одном направлении, противоточная – потоки параллельны, но направлены в противоположные стороны, и перекрестная потоки направлены под углом относительно друг друга.

Расчет теплообменного аппарата включает: определение необходимой поверхности теплопередачи, выбор типа аппарата и нормализованного варианта конструкции, удовлетворяющих заданным технологическим условиям оптимальным образом. Необходимую поверхность теплопередачи, по которой осуществляется выбор теплообменника, определяют из основного уравнения теплопередачи:

$$F = \frac{Q}{\Delta t_{cp} \cdot K}, \quad (1.3)$$

где Δt_{cp} – средняя разность температур, °С;

K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);

Q – тепловой поток в аппарате, Вт.

Коэффициент теплопередачи для плоской стенки или при большом радиусе ее кривизны ($d_B / d_H > 0,5$) составит:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (1.4)$$

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		11

где α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи теплоносителей, Вт/(м²·К);

δ_{CT} – толщина стенки теплопередающей поверхности, м;

λ_{CT} – коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/(м·К).

Средняя разность температур при прямотоке или противотоке теплоносителей равна:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}}, \quad (1.5)$$

где Δt_B и Δt_M – разности температур (большая и меньшая) теплоносителей на концах теплообменника.

Средняя температура теплоносителя, по которой определяются его теплофизические свойства, находится двумя способами. Для теплоносителей, температуры которых изменяются от начальной t_1 до конечной t_2 и $t_2/t_1 < 2$, принимают среднеарифметическую температуру $t_{CP} = (t_1 + t_2)/2$.

1.3 Описание конструкции аппарата воздушного охлаждения и выбор основных конструкционных материалов

Аппараты воздушного охлаждения горизонтальные типа АВГ (рис. 1.6) предназначены для работы на открытом воздухе в технологических процессах химической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической и газовой промышленности для конденсации и охлаждения парообразных, газообразных и жидких сред с температурой от – 40°С до + 400°С и под давлением до 12 МПа.

В аппарате принимаем противоточное движение сред, т. к. при этом обеспечивается наибольший средний температурный напор, что связано с сокращением размера поверхности теплопередачи, и наилучшее использование сред, в смысле получения наибольшего изменения температур теплоносителей при минимальном их расходе.

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12



Рисунок 1.6 – Виртуальная модель аппарата воздушного охлаждения горизонтального типа

Выбираем аппарат воздушный горизонтальный (АВГ), который состоит из трех независимых секций (рис. 1.7) с трубами длиной 4 м и оснащен одним вентилятором диаметром 2,8 м.

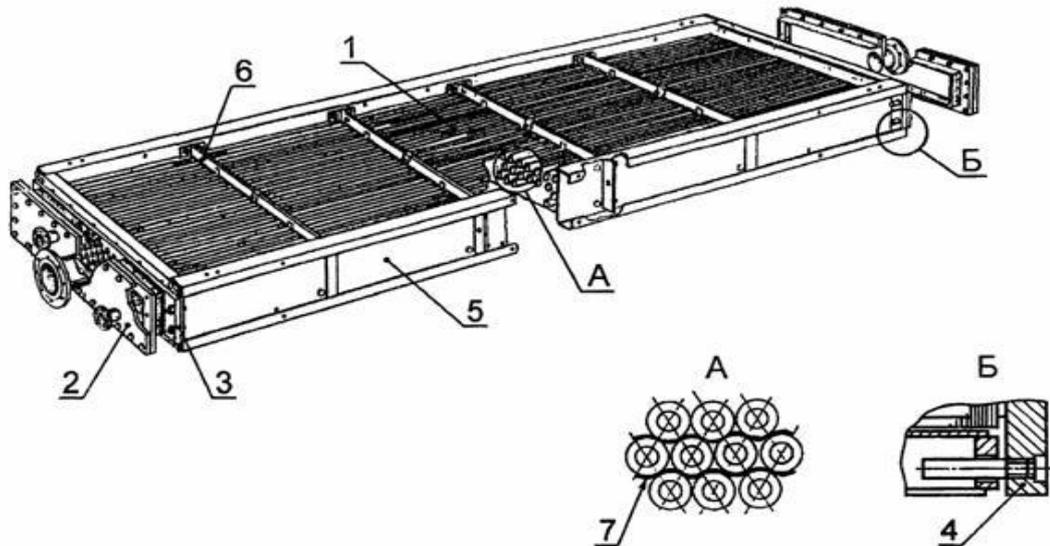


Рисунок 1.7 – Конструкция теплообменной секции:

1 – трубный пучок; 2 – крышка камеры; 3, 4 – неподвижная и подвижная трубные доски; 5 – боковая стенка; 6 – балка; 7 – дистанцирующий элемент

Теплообменная секция представляет собой пучок оребренных труб, расположенных в шахматном порядке по ходу движения охлаждающего воздуха. Концы труб заделаны в трубные решетки и закрыты крышками с отверстиями для подсоединения внешней трубопроводной обвязки. В зависимости от количества ходов продукта крышки выполняются с определенным числом перегородок.

Для данного конденсатора принимаем оребренные биметаллические трубы (рис. 1.8) с коэффициентом оребрения $\phi = 9$, условное обозначение исполнения секции Б4.

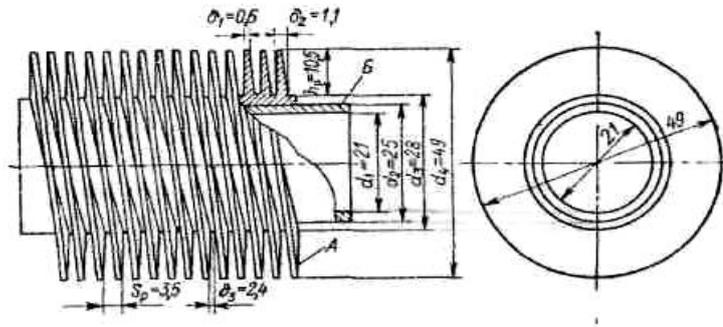


Рисунок 1.8 – Оребренные биметаллические трубы
(А – алюминий, Б – сталь)

Осевой вентилятор с приводом от электродвигателя предназначен для подачи охлаждающего воздуха в теплообменные секции. Аэродинамические элементы АВО включают обечайку вентилятора, диффузор и коллектор. Несущие конструкции, на которых монтируются теплообменные секции, выполняются металлическими или железобетонными.

Пластиковый диффузор осуществляет переход от круглого сечения со стороны вентилятора к прямоугольному со стороны секции АВО и служит для формирования и равномерного распределения потока подаваемого вентиляторами воздуха по всей поверхности секции.

Материалы для изготовления аппарата следует выбирать в соответствии со спецификой его эксплуатации, учитывая при этом возможное изменение исходных физико-химических свойств материалов под воздействием рабочей среды, температуры и протекающих химико-технологических процессов.

Для изготовления основных деталей и узлов проектируемого АПО следует выбирать металлы, скорость коррозии которых не превышает 0,1–0,5 мм/год [6].

Материал труб выбирается из условия коррозионной стойкости в среде теплоносителя. По табл. Х.28 [7] определяем конструкционные материалы, из которых изготовлены основные элементы аппарата: внутренние трубы – Сталь

2 Технологические расчеты процесса и аппарата

2.1 Технологические расчеты

Основной задачей технологического расчета является нахождение необходимой поверхности теплообмена, которая определяется из основного уравнения теплопередачи (1.2).

Коэффициент теплопередачи (формула 1.4) зависит от коэффициентов теплоотдачи (α_1, α_2) и от термического сопротивления стенки (δ/λ).

Расчет тепловой нагрузки проводим по методике [5].

При давлении 0,4 МПа температура конденсации бутана составляет 41°C.

Тепловая нагрузка проектируемого АВО рассчитывается по формуле:

$$Q = G \cdot r, \text{ кВт}, \quad (2.1)$$

где G – расход дистиллята, кг/с;

r – удельная теплота конденсации паров бутана, кДж/кг.

$$Q = \frac{125 \cdot 1000}{24 \cdot 3600} \cdot 400 = 580 \text{ кВт}.$$

Ориентировочная (максимальная поверхность теплообмена):

$$F_{\max} = \frac{Q_1}{q}, \text{ м}^2 \quad (2.2)$$

где q – теплонапряженность аппарата, Вт/м² по табл. 4.5 [5, с. 56] при конденсации компонентов и $\Delta T = T_{1К} - T_{2Н} = 314 - 293 = 21 \text{ К}$, $q = 700 \text{ Вт/м}^2$.

$$F_{\max} = \frac{580 \cdot 10^3}{700} = 828,6 \text{ м}^2.$$

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

По табл. 4.3 [5] выбираем стандартный аппарат типа АВГ, так, чтобы табличное значение полной внешней оребренной поверхности аппарата F_T превышало значение F_{\max} , т. е. $F_T = 875 \text{ м}^2 > F_{\max} = 828,6 \text{ м}^2$.

По табл. 4.3 [5] определяем характеристики выбранного аппарата:

– полная наружная оребренная поверхность аппарата $F_T, \text{ м}^2$	875
– длина теплообменных труб $l, \text{ м}$	4
– число секций n_c	3
– число труб в секции n	94
– число труб в аппарате N	282
– коэффициент оребрения труб ϕ	9
– число рядов труб в секции n_p	4
– число ходов по трубам n_x	4
– суммарная площадь наиболее узкого межтрубного сечения $S_y, \text{ м}^2$	5,35

По аэродинамической характеристике вентилятора [5] определяем величины объемного расхода воздуха $V_0, \text{ м}^3/\text{ч}$; напора $P_{\text{во}}, \text{ Па}$ и к.п.д. η_0 , отнесенный к стандартным условиям:

$$V_B = 240000 \text{ м}^3/\text{ч}; P_{\text{во}} = 23 \cdot 9,81 = 225,63 \text{ Па}; \eta = 0,68.$$

Для проектируемого аппарата выбираем осевой вентилятор ЦАГИ УК – 2М с углом установки лопастей 17° , частотой вращения колеса $7,1 \text{ об/с}$ и пропеллером диаметром 2800 мм .

Объемный расход воздуха, его плотность и напор вентилятора при рабочих условиях ($T=T_{2H}=293 \text{ К}$, и давлении атмосферного воздуха $P=P_0=101,3 \text{ кПа}$):

$$V_B = V_0 \cdot \frac{T \cdot P_0}{P \cdot T_0}, \frac{\text{ м}^3}{\text{ ч}} \quad (2.3)$$

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{P \cdot T_0}{T \cdot P_0}, \frac{\text{ кг}}{\text{ м}^3} \quad (2.4)$$

$$P_B = P_{BO} \cdot \frac{\rho}{\rho_0}, \text{ Па} \quad (2.5)$$

где ρ_0 – плотность воздуха при температуре $T_0 = 273 \text{ К}$, по табл. 2.1 [9]
 $\rho_0 = 1,293 \text{ кг/м}^3$.

$$V'_B = 240000 \cdot \frac{293}{273} = 258 \cdot 10^3 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}};$$

$$\rho_B = 1,293 \cdot \frac{273}{293} = 1,205 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$P_B = 225,63 \cdot \frac{1,205}{1,293} = 210 \text{ Па}.$$

Массовый расход воздуха одним вентилятором:

$$G_B = V'_B \cdot \rho_B, \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \quad (2.6)$$

$$G_B = 258 \cdot 10^3 \cdot 1,205 = 310 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Из уравнения теплового баланса холодильника-конденсатора конечная температура воздуха равна:

$$t_{2K} = t_{2H} + \frac{Q_1}{c_B \cdot G_B}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.7)$$

где t_{2H} – начальная температура воздуха, $^\circ\text{C}$;

c_B – теплоемкость воздуха в рабочих условиях, $c_B = 1,005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ [9].

$$t_{2K} = 20 + \frac{580 \cdot 3600}{1,005 \cdot 310 \cdot 10^3} = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		18

Полученное значение конечной температуры воздуха должно удовлетворять условию $t_{2K} < t_{1K}$. Условие выполнено: $27^{\circ}\text{C} < 41^{\circ}\text{C}$.

Коэффициент теплопередачи [5]:

$$K = \frac{1}{\psi \cdot \frac{1}{\alpha_{\Gamma}} + \frac{1}{\alpha'_{\text{X}}} + r_3}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.8)$$

где ψ – коэффициент увеличения поверхности, $\psi = 12$;

α_{Γ} – коэффициент теплоотдачи со стороны горячего потока (дистиллята), $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

α'_{X} – приведенный коэффициент теплоотдачи со стороны холодного потока (воздуха), учитывающий также термическое сопротивление металла, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

r_3 – суммарные термические сопротивления возможных загрязнений теплообменной поверхности, $r_3 = 0,0002 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ [5].

Коэффициент теплоотдачи со стороны дистиллята [5]:

$$\alpha_{\Gamma} = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda_{\text{СП1}}}{d_1}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.9)$$

где Nu – критерий Нуссельта;

$\lambda_{\text{СП1}}$ – коэффициент теплопроводности дистиллята, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

d_1 – внутренний диаметр трубы, $d_1 = 0,021 \text{ м}$.

Физические параметры дистиллята при его средней температуре в аппарате $t_{\text{СП1}} = 41^{\circ}\text{C}$:

– ПЛОТНОСТЬ

$$\rho_{\text{СП1}} = 1000 \cdot [\rho_4^{20} - \gamma \cdot (t_{\text{СП1}} - 20)], \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \quad (2.10)$$

$$\rho_{\text{СП1}} = 1000 \cdot [0,580 - 107,4 \cdot 10^{-5} \cdot (41 - 20)] = 557 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}.$$

					<i>ХИ. Т.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– коэффициент теплопроводности

$$\lambda_{\text{CP1}} = \left(\frac{0,422 - 0,000228 \cdot t_{\text{CP1}}}{\rho_{15}^{15}} \right) \cdot \frac{1000}{3600}, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \quad (2.11)$$

$$\lambda_{\text{CP1}} = \left(\frac{0,422 - 0,000228 \cdot 41}{0,585} \right) \cdot \frac{1000}{3600} = 0,20 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

– теплоемкость

$$c_{\text{CP1}} = \frac{1,687 + 0,00339 \cdot t_{\text{CP1}}}{\sqrt{\rho_{15}^{15}}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \quad (2.12)$$

$$c_{\text{CP1}} = \frac{1,687 + 0,00339 \cdot 41}{\sqrt{0,585}} = 2,39 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

– кинематическая вязкость

$$v_{\text{CP1}} = \frac{\mu}{\rho_{\text{CP1}}}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \quad (2.13)$$

где μ – динамический коэффициент вязкости, $\mu = 0,12 \cdot 10^{-3}$ Па·с [9].

$$v_{\text{CP1}} = \frac{0,12 \cdot 10^{-3}}{557} = 2,1 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

Минимальная скорость движения дистиллята в трубах аппарата, при которой обеспечивается устойчивый турбулентный поток, т. е. при которой $Re_{\text{min}} = 10^4$.

$$w_{\text{min}} = \frac{10^4 \cdot v_{\text{CP1}}}{d_1}, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2.14)$$

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

$$w_{\min} = \frac{10^4 \cdot 2,1 \cdot 10^{-7}}{0,021} = 0,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Скорость дистиллята:

$$w_1 = \frac{n_x \cdot V_1}{s_1 \cdot n_c}, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2.15)$$

где n_x – число ходов по трубам, $n_x = 4$;

V_1 – объемный расход дистиллята при среднем значении температуры, $\text{м}^3/\text{ч}$;

s_1 – общая площадь внутреннего трубного пространства, м^2 ;

n_c – число секций, $n_c = 3$.

Объемный расход дистиллята при среднем значении температуры:

$$V_1 = \frac{G}{\rho_{\text{ср1}}}, \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} \quad (2.16)$$

$$V_1 = \frac{10580}{557} = 19,0 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} = 5,28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Общая площадь внутреннего трубного пространства:

$$s_1 = n \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (2.17)$$

где n – число труб в секции, $n = 94$.

$$s_1 = 94 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,021^2}{4} = 0,0325 \text{ м}^2.$$

Находим скорость дистиллята по формуле (2.15):

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$w_1 = \frac{4 \cdot 5,28 \cdot 10^{-3}}{0,0325 \cdot 3} = 0,22 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Критериальное уравнение теплоотдачи при турбулентном режиме [5]:

$$\text{Nu} = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,3}, \quad (2.18)$$

где Re – критерий Рейнольдса;

Pr – критерий Прандтля.

$$\text{Re} = \frac{w_1 \cdot d_1}{\nu_{\text{ср1}}}, \quad (2.19)$$

$$\text{Re} = \frac{0,22 \cdot 0,021}{2,1 \cdot 10^{-7}} = 22000.$$

Критерий Прандтля – это критерий подобия тепловых процессов, который учитывает влияние физических свойств теплоносителя на теплоотдачу, а следовательно является справочной величиной. По справочным данным $\text{Pr} = 2,5$ [10].

Значение критерия Нуссельта определяем по формуле (2.18):

$$\text{Nu} = 0,023 \cdot 22000^{0,8} \cdot 2,5^{0,3} = 90.$$

Рассчитываем коэффициент теплоотдачи со стороны дистиллята по формуле (2.9):

$$\alpha_{\Gamma} = \frac{90 \cdot 0,20}{0,021} = 859 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Приведенный коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха [5]:

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		22

$$\alpha'_x = 61,6 \cdot \lg w - 0,035 \cdot t_{\text{CP2}} - 5,81, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.20)$$

где w – скорость воздуха в самом узком сечении межтрубного пространства, м/с;

t_{CP2} – средняя температура воздуха в аппарате, °С.

$$t_{\text{CP2}} = \frac{t_{2\text{H}} + t_{2\text{К}}}{2}, \text{ °С} \quad (2.21)$$

$$t_{\text{CP2}} = \frac{20 + 27}{2} = 23,5 \text{ °С.}$$

Скорость воздуха в самом узком сечении межтрубного пространства:

$$w = \frac{V_{\text{B}}}{s_y}, \frac{\text{М}}{\text{с}} \quad (2.22)$$

где V_{CP} – средний объемный расход воздуха, м³/с;

s_y – суммарная площадь наиболее узкого межтрубного сечения, $s_y = 5,35 \text{ м}^2$.

$$V_{\text{B}} = \frac{G_{\text{B}}}{\rho_{\text{B}}}, \frac{\text{М}^3}{\text{с}} \quad (2.23)$$

где ρ_{B} – плотность воздуха при его температуре; по табл. 2.1 [9]
 $\rho_{\text{B}} = 1,05 \text{ кг/м}^3$.

$$V_{\text{B}} = \frac{310 \cdot 10^3}{1,05} = 295238 \frac{\text{М}^3}{\text{ч}} = 82,0 \frac{\text{М}^3}{\text{с}}$$

Рассчитываем скорость воздуха в самом узком сечении межтрубного пространства по формуле (2.22):

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						23
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$w = \frac{82,0}{5,35} = 15,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Находим приведенный коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха по формуле (2.20):

$$\alpha'_x = 61,6 \cdot \lg 15,3 - 0,035 \cdot 23,5 - 5,81 = 66,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Определяем коэффициент теплопередачи по формуле (2.8):

$$K = \frac{1}{12 \cdot \frac{1}{859} + \frac{1}{66,4} + 0,0002} = 44,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Схема движения теплоносителей представлена на рис. 2.1.

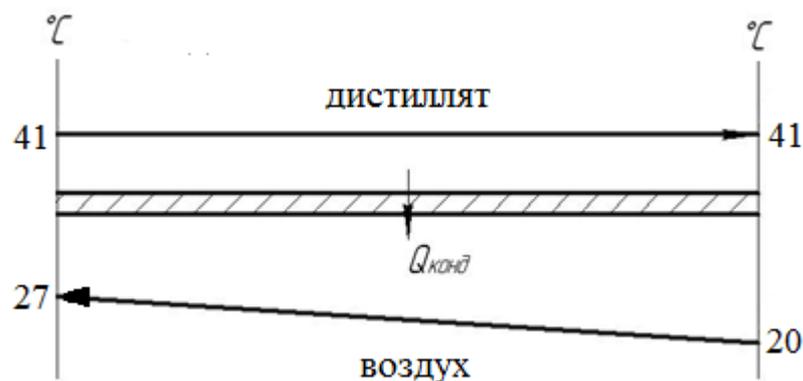


Рисунок 2.1 – Температурная схема процесса конденсации бутана

Средняя разность температур при $\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} = \frac{21}{14} = 1,5 < 2$ [5]:

$$\Delta t_{\text{CP}} = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.24)$$

где Δ_b и Δ_m – большая и меньшая разности температур между потоками на входе и на выходе из аппарата соответственно, °C.

$$\Delta t_b = t_{1K} - t_{2H} = 41 - 20 = 21 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_m = t_{1H} - t_{2K} = 41 - 27 = 14 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{21 + 14}{2} = 17,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Поверхность теплообмена [5]:

$$F_p = \frac{Q_1}{K \cdot \Delta t_{cp}}, \text{ м}^2 \quad (2.25)$$

$$F_p = \frac{580 \cdot 10^3}{44,2 \cdot 17,5} = 750 \text{ м}^2.$$

Коэффициент запаса теплообменной поверхности аппарата:

$$\beta = \frac{F_T - F_p}{F_p} \cdot 100, \text{ \%} \quad (2.26)$$

$$\beta = \frac{875 - 750}{750} \cdot 100 \% = 16,7 \text{ \%}.$$

2.2 Конструктивные расчеты

Определяем диаметры штуцеров для ввода паров и выхода жидкого дистиллята:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2.27)$$

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где V – объемный расход продукта, $\text{м}^3/\text{с}$;

w – скорость движения продукта, $\text{м}/\text{с}$:

– для паров дистиллята $w_{\text{п}} = 10 \div 30 \text{ м}/\text{с}$ [5], принимаем $w_{\text{п}} = 13 \text{ м}/\text{с}$;

– для жидкого дистиллята $w_{\text{ж}} = 0,5 \div 2,5 \text{ м}/\text{с}$ [5], принимаем $w_{\text{п}} = 1,8 \text{ м}/\text{с}$.

– диаметр штуцера для ввода паров дистиллята

$$V_1 = \frac{125 \cdot 1000}{24 \cdot 3600 \cdot 1,73} = 0,85 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

$$d_A = \sqrt{\frac{0,85}{0,785 \cdot 13}} = 0,289 \text{ м.}$$

Принимаем $d_A = 0,3 \text{ м} = 300 \text{ мм}$ по табл. 13.2 [7].

– диаметр штуцера для выхода жидкого дистиллята

$$d_B = \sqrt{\frac{5,3 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 1,8}} = 0,061 \text{ м.}$$

Принимаем $d_B = 0,065 \text{ м} = 65 \text{ мм}$ по табл. 13.2 [7].

2.3 Расчет аэродинамического сопротивления

Аэродинамическое сопротивление пучка труб:

$$\Delta P = 9,7 \frac{\rho_B}{g} (w_y)^2 n_p \left(\frac{S_p}{d_3} \right)^{-0,72} \cdot \text{Re}^{-0,24}, \text{ Па} \quad (2.28)$$

где ρ_B – плотность воздуха при его начальной температуре, $\rho_B = 1,197 \text{ кг}/\text{м}^3$ по табл. 2.1 [10];

w_y – скорость в сжатом (узком) сечении оребренного трубного пучка
 $w_y = 15,3 \text{ м}/\text{с}$;

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

n_p – число горизонтальных рядов труб в пучке (по вертикали), $n_p = 4$;

S_p – шаг ребер, $S_p = 0,0035$ м;

d_3 – наружный диаметр трубы, $d_3 = 0,028$ м;

Re – критерий Рейнольдса, отнесенный к диаметру труб d_3 .

$$Re = \frac{w_y \cdot d_3}{\nu_B}, \quad (2.29)$$

где ν_B – кинематическая вязкость воздуха при $T_{cp2} = 296,5$ К по табл. 2.1 [10]
 $\nu_B = 15,8 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

$$Re = \frac{15,3 \cdot 0,028}{15,8 \cdot 10^{-6}} = 27114.$$

Аэродинамическое сопротивление пучка труб по формуле (2.28):

$$\Delta P = 9,7 \cdot \frac{1,205}{9,81} \cdot 15,3^2 \cdot 6 \cdot \left(\frac{0,0035}{0,028} \right)^{-0,72} \cdot 27114^{-0,24} = 645 \text{ Па}.$$

Выбранный выше вентилятор ЦАГИ УК-2М с запасом по напору и производительности обеспечит работу данного аппарата.

Расход энергии для вентилятора:

$$N_{\text{э}} = 0,00981 \cdot \frac{V_B \cdot \Delta P}{g \cdot \eta}, \text{ кВт} \quad (2.30)$$

где V_B – суммарный объемный расход воздуха, $V_B = 71,7$ м³/с;

η – к.п.д. вентилятора, $\eta = 0,68$.

$$N_{\text{э}} = 0,00981 \cdot \frac{71,7 \cdot 351,3}{9,81 \cdot 0,68} = 37 \text{ кВт}.$$

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		27

При подборе электродвигателя расчетную мощность следует увеличить на 10 % для обеспечения пуска двигателя.

Действительная мощность двигателя:

$$N_{\text{эд}} = 1,1 \cdot N_{\text{э}}, \text{ кВт} \quad (2.31)$$

$$N_{\text{эд}} = 1,1 \cdot 37 = 40,7 \text{ кВт}$$

Установочная мощность электродвигателя составляет 55 кВт.

Коэффициент использования установочной мощности:

$$\varphi = \frac{N_{\text{эд}}}{N_{\text{уст}}}, \quad (2.32)$$

$$\varphi = \frac{40,7}{55} = 0,74.$$

Выбираем тип электродвигателя 4А250М6У3 с мощностью 55 кВт, синхронной частотой вращения 1000 об/мин [8].

2.4 Выбор вспомогательного оборудования

Расчет и выбор емкости.

Емкость для хранения дистиллята рассчитывают исходя из 6–8 часового резерва рабочего времени и с учетом коэффициента заполнения $\psi = 0,8 \dots 0,85$.

Принимаем $\psi = 0,85$.

Расчетный объем емкости:

$$V_{\text{EP}} = \frac{g_d \cdot \tau}{\psi \cdot \rho_d}, \quad (2.33)$$

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

где g_d – общий расход дистиллята;

τ – резерв рабочего времени, $\tau = 7$ часов ;

ρ_d – плотность дистиллята при температуре, $\rho_d = 470 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

$$V_{EP} = \frac{5208 \cdot 7}{0,85 \cdot 557} = 77 \text{ м}^3.$$

Задаемся диаметром емкости $D = 3,8 \text{ м}$, тогда ее высота будет равна:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}, \quad (2.34)$$

$$H = \frac{77}{0,785 \cdot 3,8^2} = 6,8 \text{ м}.$$

Расчет и выбор насоса для подачи орошения в колонну.

Для всасывающего и нагнетательного трубопроводов примем одинаковую скорость течения жидкости, равную $w = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Диаметр трубопровода определяем по уравнению:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.35)$$

где V – объемный расход орошения, которое подается в колонну.

$$d = \sqrt{\frac{6,6 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 2}} = 0,065 \text{ м}.$$

Определяем критерий Рейнольдса для жидкости в трубопроводе:

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_{ж}}{\mu}, \quad (2.36)$$

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot 0,065 \cdot 545}{0,19 \cdot 10^{-3}} = 372895,$$

Следовательно, режим турбулентный. Абсолютную шероховатость трубопровода принимаем $\Delta = 2 \cdot 10^{-4}$ м. Тогда:

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,065} = 0,00308.$$

Далее получим:

$$\frac{1}{e} = 325; \quad 560 \cdot \frac{1}{e} = 182000; \quad 10 \cdot \frac{1}{e} = 3250;$$

$$\text{Re} > 560 \cdot \frac{1}{e}.$$

Для зоны, автомодельной по отношению к Re:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}, \quad (2.37)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,00308^{0,25} = 0,026.$$

Определяем сумму коэффициентов местных сопротивлений отдельно для всасывающей и нагнетательной линий.

Для всасывающей линии:

- 1) вход в трубу (принимаем с острыми краями) $\xi_1 = 0,5$;
- 2) 2 колена с углом 90° $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$.

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2,$$

$$\Sigma \xi = 0,5 + 2,2 = 2,7.$$

Для нагнетательной линии:

- 1) вентили прямооточные, 2 шт. $\xi_1 = 2 \cdot 0,65 = 1,3$;
- 2) 3 колена с углом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$;
- 3) выход из трубы $\xi_3 = 1$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3,$$

$$\Sigma \xi = 1,3 + 3,3 + 1 = 5,6.$$

Потерянный напор во всасывающей линии находим по формуле:

$$h_{п.вс.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_3} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.38)$$

где l, d_3 – соответственно длина и эквивалентный диаметр трубопровода.

$$h_{п.вс.} = \left(0,026 \cdot \frac{8}{0,065} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,20 \text{ м.}$$

Потерянный напор в нагнетательной линии находим по формуле (2.38):

$$h_{п.наг.} = \left(0,026 \cdot \frac{12}{0,065} + 5,6 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 2,12 \text{ м.}$$

Общие потери напора:

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

$$h_{II} = h_{II.BC.} + h_{II.HAF.}, \quad (2.39)$$

$$h_{II} = 1,20 + 2,12 = 3,32 \text{ м.}$$

Находим напор насоса по уравнению:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_{ж} \cdot g} + H_{\Gamma} + h_{II}, \quad (2.40)$$

где $(P_2 - P_1)$ – разность давлений в аппарате и в емкости, из которой подается жидкость. В нашем случае эта разность равна $(P_2 - P_1) = 0,42 - 0,1 = 0,32 \text{ МПа}$;

H_{Γ} – геометрическая высота подъема жидкости.

$$H = \frac{0,32 \cdot 10^6}{545 \cdot 9,81} + 6 + 3,32 = 69,2 \text{ м.}$$

Полезную мощность насоса определяем по уравнению:

$$N_{II} = \rho_{ж} \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (2.41)$$

где Q – подача (расход), $Q = 6,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

H – напор насоса.

$$N_{II} = 545 \cdot 9,81 \cdot 6,6 \cdot 10^{-3} \cdot 69,2 = 2442 \text{ Вт.}$$

Мощность, которую должен развивать электродвигатель насоса на выходном валу при установившемся режиме работы:

$$N = \frac{N_{II}}{\eta_{пер} \cdot \eta_{н}}, \quad (2.42)$$

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где $\eta_n, \eta_{пер}$ – коэффициенты полезного действия соответственно насоса и передачи от электродвигателя к насосу. Принимая $\eta_n = 0,6$ и $\eta_{пер} = 1$, получим

$$N = \frac{2442}{1 \cdot 0,6} = 4070 \text{ Вт}.$$

Выбираем центробежный насос марки ЦНС 38-88 со следующими параметрами: объемная подача насоса $38 \text{ м}^3/\text{ч}$; напор насоса 88 м ; мощность, потребляемая насосом $18,5 \text{ кВт}$; частота вращения 3000 об/мин .

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>33</i>

3 Расчеты аппарата на прочность и герметичность

Расчет плоской крышки.

Исходные данные для расчета:

- расчетное внутреннее давление $p = 0,42$ МПа,
- расчетная температура стенки $t = 41^\circ\text{C}$;
- материал – Сталь ВСтЗпс;
- расчетная длина крышки секции $D = 1300$ мм;
- проницаемость материала $\Pi = 0,1$ мм/год;
- срок службы аппарата $\tau = 15$ лет.

Расчетная толщина стенки плоской крышки, работающей под внутренним давлением [11]:

- при расчетных параметрах

$$s_{\text{IR}} = K \cdot K_0 \cdot D_R \cdot \sqrt{\frac{p}{[\sigma] \cdot \varphi}}, \text{ мм} \quad (3.1)$$

где K – коэффициент, который определяется в зависимости от соединения крышки с корпусом, по табл. 3 [11] $K = 0,41$;

K_0 – коэффициент ослабления крышки;

D_R – расчетная длина крышки, по табл. 3 [11] $D_R = D = 1300$ мм;

φ – коэффициент прочности сварного шва, $\varphi = 1,0$ [11];

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение в рабочем состоянии.

$$[\sigma] = \sigma^* \cdot \eta, \text{ МПа} \quad (3.2)$$

где σ^* – нормативное допускаемое напряжение при расчетной температуре;
 $\sigma^* = 130$ МПа по табл. 1.2 [11] – для стали ВСтЗпс при температуре 41°C ;

η – поправочный коэффициент, учитывающий вид заготовки, $\eta = 1,0$ [11].

$$[\sigma] = 130 \cdot 1,0 = 130 \text{ МПа}.$$

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Коэффициент ослабления для крышки, имеющей несколько отверстий:

$$K_0 = \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{2 \cdot d_A}{D_R}\right)^3}{1 - \frac{2 \cdot d_A}{D_R}}}, \quad (3.3)$$

Принимаем во внимание отверстия под штуцер А, т. к. по диаметру они больше.

$$K_0 = \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{2 \cdot 300}{1300}\right)^3}{1 - \frac{2 \cdot 300}{1300}}} = 1,29.$$

Определяем расчетную толщину стенки плоской крышки при расчетных параметрах по формуле (3.1):

$$s_{IR} = 0,41 \cdot 1,29 \cdot 1300 \cdot \sqrt{\frac{0,42}{130 \cdot 1,0}} = 39 \text{ мм.}$$

– при гидравлическом испытании

$$s_{IRи} = K \cdot K_0 \cdot D_R \cdot \sqrt{\frac{p_{и}}{[\sigma]_{и} \cdot \varphi}}, \text{ мм} \quad (3.4)$$

где $p_{и}$ – пробное давление при гидравлическом испытании, МПа;

$[\sigma]_{и}$ – допускаемое напряжение при гидравлическом испытании, МПа.

Пробное давление при гидравлическом испытании [11]:

$$p_{и} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \\ 0,2 \end{array} \right\}, \text{ МПа} \quad (3.5)$$

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где $[\sigma]_{20}$ – допускаемое напряжение для ВСтЗпс при температуре $+20^{\circ}\text{C}$, вычисляем его по формуле (3.2):

$$[\sigma] = 140 \cdot 1,0 = 140 \text{ МПа}.$$

Определяем пробное давление при гидравлическом испытании по формуле (3.5):

$$p_{\text{и}} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot 0,42 \cdot \frac{140}{130} = 0,68 \\ 0,2 \end{array} \right\} = 0,68 \text{ МПа}.$$

Допускаемое напряжение при гидравлическом испытании:

$$[\sigma]_{\text{и}} = \frac{\sigma_{\text{T}20}}{1,1}, \text{ МПа} \quad (3.6)$$

где $\sigma_{\text{T}20}$ – минимальное значение предела текучести материала при температуре $+20^{\circ}\text{C}$; $\sigma_{\text{T}20} = 210$ МПа по табл. I [11] для стали ВСтЗпс.

$$[\sigma]_{\text{и}} = \frac{210}{1,1} = 190,91 \text{ МПа}.$$

Определяем расчетную толщину стенки плоской крышки при гидравлическом испытании по формуле (3.4):

$$s_{\text{иРи}} = 0,41 \cdot 1,29 \cdot 1300 \cdot \sqrt{\frac{0,68}{190,91 \cdot 1,0}} = 41 \text{ мм}.$$

Прибавки к расчетной толщине стенки [11]:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \text{ мм} \quad (3.7)$$

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

где c_1 – прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;

c_2 – прибавка для компенсации минусового допуска, $c_2 = 0$;

c_3 – технологическая прибавка, $c_3 = 0$.

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 = \Pi \cdot \tau + c_3, \text{ мм} \quad (3.8)$$

где Π – проницаемость материала, $\Pi = 0,1$ мм/год;

τ – срок службы аппарата, $\tau = 15$ лет;

c_3 – прибавка для компенсации эрозии, $c_3 = 0$.

$$c = c_1 = 0,1 \cdot 15 + 0 = 1,5 \text{ мм.}$$

Исполнительная толщина плоской крышки, работающей под внутренним давлением:

$$s_1 = \max(s_{1R}; s_{1Rи}) + c, \text{ мм} \quad (3.9)$$

$$s_1 = \max(39; 41) + 1,5 = 41 + 1,5 = 42,5 \text{ мм.}$$

Округляем к большему стандартному значению и получаем $s_1 = 44$ мм.

Проверяем условие применения расчетных формул для плоской крышки:

$$\frac{s_1 - c}{D_R} \leq 0,1, \quad (3.10)$$

$$\frac{44 - 1,5}{1300} = 0,033 < 0,1.$$

Условие применения расчетных формул выполнено.

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		37

4 Монтаж та ремонт аппарата

4.1 Монтаж аппарата [12, 13]

Монтажные работы являются составной частью общего процесса строительства предприятия или одного из его объектов. Монтаж оборудования на химических и нефтехимических заводах производится как при строительстве новых объектов, так и при реконструкции и ремонте действующих. В последних двух случаях монтажу предшествует демонтаж оборудования.

Монтажные площадки оснащают необходимыми грузоподъемными механизмами и приспособлениями. Это чаще всего канаты, тросы, стропы, блоки, полиспасты, различные тали и лебедки, а также грузоподъемные машины и механизмы. Такелажные средства должны быть простыми в изготовлении, удобными для транспортирования, монтажа, перестановки и демонтажа и, конечно же, безопасными в работе.

Монтаж теплообменных аппаратов должен, как правило, производиться в максимально собранном виде с установленными узлами трубопроводов и металлоконструкциями каркасов. До установки в проектное положение аппарат подвергают гидравлическому испытанию на прочность. При этом отдельно испытывают межтрубное (при снятых крышках) и трубное пространство.

Аппараты устанавливают в проектное положение на фундамент или другое основание с помощью монтажных кранов или других грузоподъемных механизмов.

Монтаж, пуск, эксплуатация и ремонт АВО должны производиться с соблюдением всех правил безопасности, установленных для отдельных видов работ, общих правил безопасности и пожарной безопасности, изложенных в соответствующих инструкциях, действующих на данном предприятии и в соответствии с действующими строительными нормами и правилами.

АВО устанавливается на специальном фундаменте (технологической этажерке).

Монтаж аппарата воздушного охлаждения проводится в следующей последовательности:

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		38

1. выставить на фундаментах (технологической этажерке) контейнера, закрепить, соединить их между собой крепежными болтами;
2. на контейнер установить установки диффузоров, закрепить, соединить их между собой крепежными болтами;
3. установить секции АВО на штыри установок диффузоров с соответствующей маркировкой, закрепить;
4. произвести монтаж секции блока, установить секцию блока на секцию АВО;
5. к защитным жалюзям и секциям АВО подсоединить привода защитных жалюзи.

Все болтовые соединения затянуть с использованием стандартных ключей, без применения удлинителей.

Проверить установку в секции АВО ответных фланцев и прокладок на штуцерах входа и выхода рабочей среды. Шпильки, гайки и шайбы должны быть проверены на качество изготовления. Резьба должна быть чистой, без царапин, срывов, задиров и заусенцев. Поверхность на нарезанной части шпилек - гладкой. Гайка, надетая на резьбу шпильки, не должна иметь слабины.

Перед затяжкой гаек произвести тщательный осмотр привалочных поверхностей фланцев: риски, забоины и др. дефекты на этих поверхностях не допускаются. Необходимо проверить размеры и состояние прокладок на соответствие их размерам привалочных поверхностей стыкуемых фланцев. Далее проверить правильность установки прокладок, убедиться в наличии полного комплекта шпилек в отверстиях фланцев и в том, что прокладки вошли в пазы, предназначенные для них. Неполный комплект шпилек или перекос фланцев не допускается.

Все выявленные дефекты в процессе монтажа и методы их устранения должны быть зарегистрированы в паспорте АВО.

Выполнить подсоединение АВО ко всем необходимым коммуникациям и арматуре. Очистить от грязи и посторонних предметов все подводящие и отводящие трубопроводы перед присоединением к аппарату.

Произвести заземление аппарата согласно требованиям ПУЭ.

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						39
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Разбираются фланцевые соединения в обратном порядке с осмотром фланцев, прокладок, крепежа с целью выявления дефектов.

Правильность установки АВО на фундаменте или другом основании выверяют:

- горизонтальных аппаратов, секций – гидростатическим или брусковым уровнем и контрольной линейкой;
- осей опорных стоек каркасов – отвесом;
- отклонение плоскостей кронштейнов опорных стоек, несущих трубы или секции, от расположения в одной горизонтальной плоскости – по натянутой струне;
- отклонение от горизонтальности привода вентилятора аппарата с воздушным охлаждением – брусковым уровнем.

При установке колеса вентилятора должен быть выдержан равномерный радиальный зазор в пределах допускаемых размеров.

При центровке валов замеры нужно производить в четырех положениях при совместном повороте полумуфт на 90° (для определения величин перекоса и параллельного смещения осей). Центровка привода считается правильной, если разность диаметрально противоположных размеров перекоса и параллельного смещения осей не превышают 0,06 мм (при диаметре муфты 250 мм).

4.2 Ремонт аппарата [12, 13]

Ремонт – это комплекс операций по восстановлению исправного состояния работоспособности и ресурса оборудования.

Состояние наружной поверхности элементов АВО, работающих под давлением, проверяется в следующих местах:

- в месте приварки фланцев;
- в месте пересечения сварных швов;
- наружная поверхность трубного пространства АВО.

На элементах, работающих под давлением, проверяются следующие дефекты:

					<i>ХИ.Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		40

- на поверхности – трещины, надрывы, выпучины;
- повышенная скорость коррозии стенок;
- в сварных швах – дефекты сварки, трещины, надрывы, протравления.

АВО, подлежащий вскрытию для ремонта и очистки, должен быть остановлен, освобожден от продукта, отключен и заглушен от работающих аппаратов, пропарен и продут азотом. В АВО должно быть давление атмосферное, температура снижена до нормальной, взрыво- и пожароопасная среда отсутствовать.

В некоторых случаях пропарку и промывку чередуют несколько раз. Промывка водой способствует более быстрому остыванию АВО. Нельзя приступать к ремонтным работам, если температура промывной воды превышает 50°C.

Пропаренный и промытый теплообменник отсоединяют от всех аппаратов и коммуникаций глухими заглушками, устанавливаемыми во фланцевых соединениях штуцеров. Установку каждой заглушки и последующее ее снятие регистрируют в специальном журнале.

С целью сокращения продолжительности ремонтных работ еще при промывке АВО водой отворачивают часть болтов на тех люках, которые будут вскрываться, не нарушая при этом герметичности.

После открывания люка аппарат некоторое время проветривается в результате естественной конвекции воздуха. После окончания проветривания нужно провести анализ проб воздуха, взятых с аппарата. К работам внутри АВО разрешается приступать только тогда, когда анализ покажет, что концентрация вредных газов в нем не превышает предельно допустимых санитарных норм.

Далее необходимо выполнить тщательный наружный и внутренний осмотр аппарата для выявления возможных дефектов, образовавшихся в процессе эксплуатации (механические повреждения, трещины, коррозия и др.). При необходимости осмотра всей поверхности корпуса разбирают внутренние устройства или их часть.

При работе, связанной с нахождением человека в зоне вращающихся частей АВО, должны быть приняты меры, исключающие возможность включения электродвигателей.

Чистка трубного пространства секций АВО должна производиться в соответствии с действующей инструкцией на предприятии, эксплуатирующем АВО.

Выявленные в процессе осмотра изношенные штуцера и люки вырезают и заменяют новыми с обязательной установкой укрепляющих колец. Желательно, чтобы укрепляющие кольца новых штуцеров имели несколько больший диаметр, чем старые: это позволяет приваривать их в новом месте. Ремонту подвергают все штуцера, сигнальные отверстия, на укрепляющих кольцах которых во время эксплуатации были заглушены пробками.

При наличии повреждений наружной поверхности (вмятин, коррозионных разрушений и др.) необходимо удалить дефектный металл шлифованием. Надежность ликвидации поверхностных дефектов контролируют магнитной или ультразвуковой дефектоскопией. Допускается глубина повреждения в пределах 10–20 % толщины стенки в зависимости от размеров повреждения.

Все уплотнительные поверхности следует контролировать магнитной или ультразвуковой дефектоскопией на отсутствие трещин.

После ремонта АВО его подвергают гидравлическим или пневматическим испытаниям.

					<i>ХИ. Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		42

5 Охрана труда

Несчастные случаи, связанные с производством [14]. Порядок их расследования, специальное расследование [15, 16].

Лица, работающие на условиях трудового договора (контракта), подлежат общеобязательному государственному социальному страхованию от несчастного случая на производстве и профессионального заболевания, повлекших утрату трудоспособности (далее – страхование от несчастного случая). Порядок такого страхования предусмотрено Законом о социальном страховании. И для того, чтобы застрахованное лицо могло получить соответствующую помощь в случае наступления страхового случая, работодатель-страхователь обязан обеспечить проведение расследования несчастного случая.

В ст. 36 Закона о соцстрахе указано, что в случае наступления страхового случая Фонд соцстраха выплачивает застрахованному лицу (или лицам, имеющим на это право) страховые выплаты.

Страховыми случаями по социальному страхованию от несчастных случаев в соответствии с п.10 ч.1 ст.1 Закона о соцстрах есть:

– несчастный случай на производстве или профессиональное заболевание, повлекшие застрахованному профессионально обусловленную физическую или психическую травму;

– несчастный случай или профессиональное заболевание, которое произошло в результате нарушения застрахованным нормативных актов об охране труда. При этом основанием для оплаты пострадавшему расходов на медицинскую помощь, проведение медицинской, профессиональной и социальной реабилитации, а также страховых выплат является акт расследования несчастного случая или акт расследования профессионального заболевания (отравления).

С 01 июля 2019 г. введен в действие новый «Порядок расследования и учета несчастных случаев, профессиональных заболеваний и аварий на производстве», утвержденный Постановлением Кабинета министров Украины от 17.04.2019 г. № 337.

					<i>ХИ. Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		43

Порядок определяет процедуру проведения расследования и учета несчастных случаев, профессиональных заболеваний и аварий на производстве, происшедших с лицами, определенными частью первой статьи 35 Закона Украины "Об общеобязательном государственном социальном страховании".

Требования настоящего Порядка распространяются на всех юридических и физических лиц, в соответствии с законодательством использующих наемный труд, и лиц, указанных в пункте 1 настоящего Порядка.

В случае получения информации о несчастном случае и / или остром профессиональном заболевании (отравлении) от непосредственного руководителя работ, сообщения от учреждения здравоохранения, заявления потерпевшего, членов его семьи или уполномоченного им лица и т. п. работодатель обязан в течение двух часов сообщить предприятиям (учреждениям, организациям), указанным в абзацах четвертом – девятом п. 8 Порядка, с использованием средств связи и не позднее следующего рабочего дня предоставить на бумажном носителе сообщения согласно приложению 2 Порядка.

Сообщение о несчастном случае предоставляется по месту наступления несчастного случая и / или острого профессионального заболевания (отравления), а в случае наступления несчастного случая в результате происшествия (аварии, катастрофы и т. п.) во время движения транспортных средств всех видов – по месту регистрации предприятия (учреждения, организации):

- территориальному органу Гоструда;
- рабочему органу Фонда;
- руководителю предприятия (учреждения, организации), на территории которого произошли несчастный случай и / или острое профессиональное заболевание (отравление), если пострадавший является работником другого предприятия (учреждения, организации);
- руководителю первичной организации профсоюза независимо от членства пострадавшего в профсоюзе (при наличии на предприятии (в учреждении, организации) нескольких профсоюзов);

					<i>ХИ. Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		44

– несчастные случаи с лицами, работающими на условиях гражданско-правового договора, по иным основаниям, предусмотренным законом, физическими лицами – предпринимателями, лицами, осуществляющими независимую профессиональную деятельность, членами фермерского хозяйства;

– несчастные случаи, происшедшие с лицами, фактически допущенными к работе без оформления трудового договора (контракта).

На предприятии (в учреждении, организации), не позднее следующего рабочего дня после получения информации о несчастном случае и / или остром профессиональном заболевании (отравлении), приказом работодателя создается комиссия по расследованию несчастных случаев и / или острых профессиональных заболеваний (отравлений), не подлежат специальному расследованию (далее – комиссия).

Расследование несчастного случая и / или острого профессионального заболевания (отравления) комиссией предприятия (учреждения, организации) проводится в течение пяти рабочих дней со дня образования комиссии.

Гострудом и / или ее территориальным органом образуется комиссия по специальному расследованию (далее – специальная комиссия) в течение одного рабочего дня после получения от работодателя письменного уведомления о несчастном случае.

Специальное расследование несчастного случая и / или острого профессионального заболевания (отравления) проводится в течение 15 рабочих дней.

Комиссия (специальная комиссия) обязана:

– обследовать место, где произошли несчастный случай и / или острое профессиональное заболевание (отравление), авария;

– изучить имеющиеся на предприятии документы и материалы несчастного случая и / или острого профессионального заболевания (отравления)

– определить вид события, которое привело к несчастному случаю и / или острому профессиональному заболеванию (отравлению);

– выяснить обстоятельства и причины несчастного случая и / или острого профессионального заболевания (отравления);

					<i>ХИ. Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		46

- определить, связаны / не связаны несчастный случай и / или острое профессиональное заболевание (отравление) с производством;
- составить акт по форме Н-1 согласно приложению 11 в количестве, определенном решением комиссии (специальной комиссии);
- в случае наступления групповых несчастных случаев и / или острых профессиональных заболеваний (отравлений) составить акты по форме Н-1 на каждого потерпевшего;
- рассмотреть и подписать экземпляры актов по форме Н-1 (временные акты по форме Н-1 в случае их принятия), а в случае несогласия члена комиссии (специальной комиссии) с содержанием разделов 5, 6, 7, 8 следующего акта – обязанность подписать эти акты с отметкой о наличии особого мнения, которая излагается членом комиссии письменно, в которой он обоснованно излагает предложения к содержанию разделов 5, 6, 7, 8 акта (особое мнение прилагается к этим актам и является их неотъемлемой частью);
- передать не позднее следующего рабочего дня после подписания актов по форме Н-1 материалы расследования и экземпляры таких актов руководителю предприятия (учреждения, организации) или органа, образовавшего комиссию (специальную комиссию), для их рассмотрения и утверждения.

Решение о признании несчастного случая и / или острого профессионального заболевания (отравления) связанными или не связанными с производством принимается комиссией (специальной комиссией) путем голосования простым большинством голосов. В случае равенства голосов членов комиссии (специальной комиссии) голос председателя комиссии (специальной комиссии) является решающим.

По осуществлению контроля за своевременностью и объективностью расследования несчастных случаев, их документальным оформлением и учетом, выполнением мероприятий по устранению причин несчастных случаев, следует отметить, что такой контроль возложен на органы государственного управления, органы государственного надзора за охраной труда, исполнительную дирекцию Фонда социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, и ее рабочие органы, согласно компетенции.

					<i>ХИ. Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		47

Общественный контроль, в свою очередь, осуществляют профсоюзы через свои выборные органы и представителей, а также уполномоченные наемными работниками лица по вопросам охраны труда.

					<i>ХИ. Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		48

Список использованных источников

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
2. Мутугуллина И. А. Устройство и расчет аппаратов воздушного охлаждения (АВО) : учебное пособие / И. А. Мутугуллина. – Бугульма : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2017. – 80 с.
3. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с.
4. Кузнецов А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А.А. Кузнецов, С.М. Кагерманов, Е.Н. Судаков. – Л. : Химия, 1974 – 344 с.
5. Эмирджанов Р.Т. Основы технологических расчетов в нефтепереработке и нефтехимии / Р.Т. Эмирджанов, Р.А. Лемберанский . – М. : Химия, 1989. – 192 с.
6. Лашинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
7. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лашинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
8. Марочник сталей и сплавов / Колосков М. М., Долбенко Е. Т., Каширский Ю. В. и др. Под общей ред. А. С. Зубченко – М. : Машиностроение, 2001. – 672 с.
9. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.
10. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв : Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.

					<i>ХИ. Т.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		49

11. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов вузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко, В. В. Зобнин; Под общ. ред. М. Ф. Михалева. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 301 с.
12. Гайдамак К. М. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической промышленности / К. М. Гайдамак, Б. А. Тыркин. – М. : Высшая школа, 1974. – 286 с.
13. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.
14. Нещасний випадок на виробництві: порядок розслідування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ibuh.info/neshhasnij-vipadok-na-virobnictvi-poryadok-rozsliduvannya>
15. Фонд соціального страхування України. Узагальнена інформація з питань розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.fssu.gov.ua/fse/control/kiev/uk/publish/article/89164>
16. Розслідування нещасних випадків на виробництві [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://minjust.gov.ua/m/str_6680