

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 колону-деетанізатор

Виконав:
студент групи ХМ-71/3хо.і

Матязов Сердар

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 Матязову Сердару

1 Тема роботи: Газофракціонуєча установка. Розробити колону-деетанізатор

2 Вихідні дані: Розробити колону-деетанізатор продуктивністю 48 т/добу за широкою фракцією легких вуглеводнів (ШФЛВ). Склад сировини (% мас.): $CH_4 = 6$; $C_2H_6 = 7$; $C_3H_8 = 30$; $i-C_4H_{10} = 15$; $n-C_4H_{10} = 25$; $C_5H_{12+} = 17$. Тиск у колоні дорівнює 5 МПа.

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

1. Технологічна схема газофракціонуєчої установки – 1,0 арк.
2. Складальне креслення деетанізатора – 1,0 арк.
3. Складальне креслення кришки – 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. Кузнецов А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А.А. Кузнецов, С.М. Кагерманов, Е.Н. Судаков. – Л. : Химия, 1974 – 344 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

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

6 Дата видачі завдання

жовтень 2020 р.

Керівник

підпис

ст. викл. Острога Р.О.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 58 с., 8 рис., 3 табл., 1 приложение, 18 источников.

Графические материалы: технологическая схема газофракционирующей установки, сборочный чертеж ректификационной колонны, сборочный чертеж крышки аппарата – всего 3 листа формата А1.

Тема квалификационной работы «Газофракционирующая установка. Разработать колонну-деэтанализатор».

В работе приведены теоретические основы и особенности процесса ректификации для разделения многокомпонентных углеводородных смесей на отдельные фракции, выполнены технологические расчеты процесса, определены габаритные размеры аппарата, рассчитано его гидравлическое сопротивление, обоснован выбор материалов для изготовления основных деталей и узлов аппарата, рассчитано и выбрано вспомогательное оборудование. Расчетами на прочность и герметичность показана надежность работы спроектированного аппарата. В разделе «Охрана труда» рассмотрен Закон Украины «Об охране труда».

Ключевые слова: УСТАНОВКА, РЕКТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОННА, НАСАДКА, ЭТАН, ПРОПАН, БУТАН, ПРОЧНОСТЬ, ОХРАНА ТРУДА.

Содержание

	С.
Введение	5
1 Технологическая часть	6
1.1 Описание технологической схемы ГФУ	6
1.2 Теоретические основы процесса ректификации	8
1.3 Описание ректификационной колонны и выбор основных конструкционных материалов	14
2 Технологические расчеты процесса и аппарата	18
2.1 Технологические расчеты	18
2.2 Конструктивные расчеты	20
2.3 Гидравлические расчеты	25
2.4 Выбор вспомогательного оборудования	27
3 Расчеты аппарата на прочность и герметичность	33
3.1 Определение толщины стенки корпуса и крышки	33
3.2 Расчет толщины решетки	37
4 Монтаж та ремонт аппарата	38
4.1 Монтаж аппарата	38
4.2 Ремонт аппарата	42
5 Охрана труда	49
Список использованных источников	57
Приложение – Спецификации к графической части проекта	

					<i>ХИ.Р.00.00.00.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Матязов</i>			Насадочная ректификационная колонна <i>Пояснительная записка</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Острога</i>					4	58
<i>Реценз.</i>						<i>СумГУ, ХМ-71/Эхо.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].

Предприятия переработки нефти находятся на всех континентах (кроме Антарктиды) – 109 стран эксплуатирует более 770 нефтеперерабатывающих заводов. Вот десять стран наибольшей мощности (млн.тонн/год) нефтеперерабатывающих заводов: США – 830; Китай – 340; Россия – 271; Япония – 234; Индия – 171; Канада – 166; Южная Корея – 135; Германия – 123; Франция – 120; Италия – 102. Мощность отдельных нефтеперерабатывающих заводов колеблется от 50 тыс. тонн до 55 млн. тонн в год (комплекс фирмы «Реланс», штат Гуджерат, Индия) [2].

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. К одним из основных процессов нефтехимической промышленности относится ректификация, предназначенная для разделения различных по температуре кипения жидкостей на отдельные компоненты или их фракции [1].

Основными требованиями, предъявляемыми к колонным аппаратам, являются: обеспечение заданной чистоты получаемых продуктов, высокая удельная производительность, малые удельные металло- и энергоемкости, надежность в работе при достаточно широком диапазоне изменения нагрузки, возможность серийного производства на машиностроительных заводах, простота обслуживания [1].

В данной квалификационной работе спроектирована насадочная ректификационная колонна – деэтанализатор, которая предназначена для получения технического этана в составе газофракционирующей установки. Данный проект выполнен в соответствии с методическими указаниями [3].

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

1 Технологическая часть

1.1 Описание технологической схемы ГФУ

Газофракционирование – это процесс, который предназначен для получения индивидуальных легких углеводородов или углеводородных фракций высокой чистоты из нефтезаводских или попутных газов. Газофракционирующие установки состоят из следующих укрупненных блоков [4]:

- 1) выделение углеводородов C_{3+} из газообразного сырья конденсационно-компрессионным или абсорбционным способом;
- 2) дезтанизация сырья;
- 3) ректификация жидких углеводородов;
- 4) очистка сырья и готовой продукции.

Основным назначением газофракционирующих установок является разделение углеводородного сырья с целью получения индивидуальных компонентов или углеводородных фракций высокой чистоты, отличающихся температурами кипения. Необходимым условием работы установки является обеспечение высокой степени разделения газовой и жидкой фаз за счет использования системы ректификационных колонн, количество которых определяется по количеству разделяемых компонентов. В общем случае число колонн для ректификации многокомпонентной смеси должно быть на одну меньше, чем число компонентов, на которые разделяется смесь, т. е. для разделения смеси из n компонентов требуется $n - 1$ колонна [5].

На рис. 1.1 представлена типовая технологическая схема газофракционирующей установки (ГФУ). Принцип ее работы заключается в следующем. Широкая фракция легких углеводородов (ШФЛУ), после подогрева в теплообменниках, подается в верхнюю часть дезтанизатора. Нижним продуктом этановой колонны является дезтанизованная ШФЛУ, а верхним – пары этана. Верхний продукт дезтанизатора в газообразном состоянии поступает в аппарат воздушного охлаждения для последующей его конденсации.

					<i>ХИ.Р.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

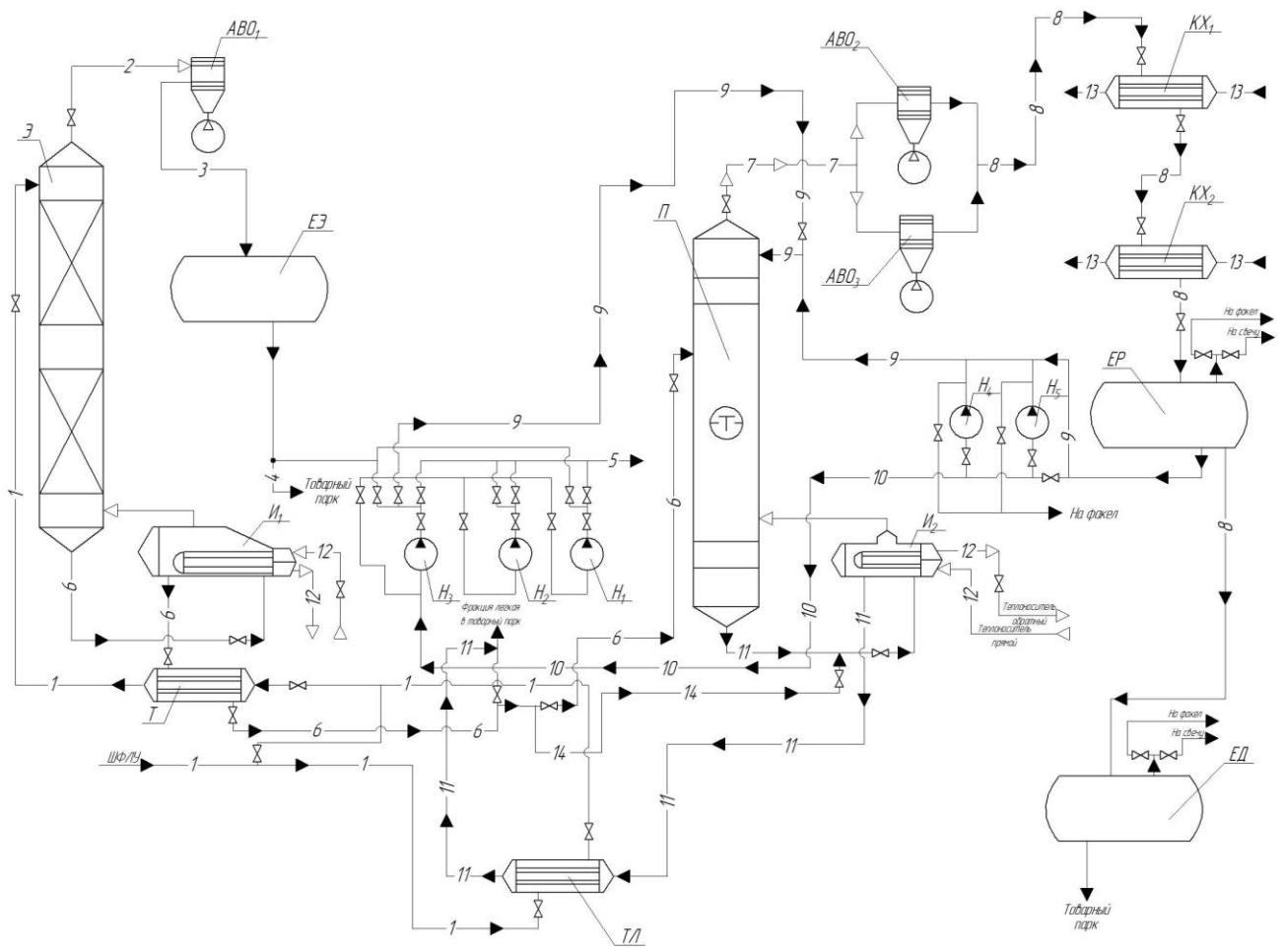


Рисунок 1.1 – Технологическая схема ГФУ

Далее уже жидкий этан поступает в соответствующую емкость, откуда часть продукта идет на технологические нужды, а другая часть направляется в товарный парк.

Кубовый продукт деэтанизатора поступает в испаритель с паровым пространством, где происходит частичное испарение деэтанизированной ШФЛУ и таким образом продуцируется паровое орошение для колонны. Жидкая часть продукта, переливаясь через уровневую планку в испарителе, направляется в депропанизатор, предварительно подогреваясь в теплообменнике.

Нижним продуктом пропановой колонны является депропанизированная ШФЛУ, а верхним – пары пропана. Верхний продукт в газообразном состоянии поступает на охлаждение в аппараты воздушного охлаждения, а после

последовательно – в конденсаторы-холодильники для конденсации. Далее уже жидкая пропановая фракция поступает в емкость технического пропана, откуда часть идет в виде флегмы на орошение колонны, а часть направляется в товарный парк. Кубовый продукт частично испаряется и возвращается в колонну в виде парового орошения, а остальная часть – идет на дальнейшую переработку.

1.2 Теоретические основы процесса ректификации

Теоретические основы процесса и особенности расчета многокомпонентной ректификации, которые представлены в этом разделе, выполнены на основании анализа литературных источников [1, 4, 5].

Ректификация – это противоточное взаимодействие двух неравновесных фаз – жидкости и пара, образующегося из этой жидкости. В результате таких многократно повторяющихся процессов восходящая в колонне паровая фаза постепенно обогащается низкокипящим компонентом (НКК), и из верхней части колонны отводятся почти чистые пары НКК. С другой стороны, стекающая по колонне сверху вниз жидкая фаза обогащается высококипящим компонентом (ВКК), и снизу аппарата выводится практически чистый ВКК.

Процессы ректификации осуществляются периодически или непрерывно при различных давлениях: под атмосферным давлением, под вакуумом, а также под давлением больше атмосферного. Чередующиеся и многократно повторяющиеся процессы испарения жидкости и конденсации паров протекают на специальных контактных устройствах, размещенных в вертикальном колонном аппарате, названном ректификационной колонной.

Материальный баланс ректификационной колонны.

По потокам:

$$G_F = G_D + G_W. \quad (1.1)$$

					<i>XI.P.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

По легколетучему компоненту:

$$G_F X_F = G_D X_D + G_W X_W, \quad (1.2)$$

где G_F , G_D , G_W – массовые или мольные расходы питания, дистиллята и кубового остатка соответственно;

x_F , x_D , x_W – содержание легколетучего компонента в питании, дистилляте и кубовом остатке соответственно.

Тепловой баланс ректификационной колонны.

Приход тепла:

- с теплоносителем в кипятильнике Q_K ;
- с исходной смесью Q_F ;
- с флегмой Q_Φ .

Расход тепла:

- с парами, поступающими из колонны в дефлегматор Q_G ;
- с остатком Q_W ;
- потери в окружающую среду Q_Π .

Таким образом, уравнение теплового баланса:

$$Q_K + Q_F + Q_\Phi = Q_G + Q_W + Q_\Pi. \quad (1.3)$$

Минимальное число теоретических тарелок в колонне определяется по уравнению Фенске-Андервуда:

$$N_{\min} = \frac{\lg \left(\frac{X_{di}}{X_{dj}} \cdot \frac{X_{wj}}{X_{wi}} \right)}{\lg \left(\frac{K_i}{K_j} \right)}, \quad (1.4)$$

					<i>XI.P.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

где X_{di}, X_{dj} – мольная концентрация легкого и тяжелого ключевого компонента в дистилляте соответственно;

X_{wi}, X_{wj} – мольная концентрация легкого и тяжелого ключевого компонента в кубовом остатке соответственно;

K_i, K_j – константа фазового равновесия легкого и тяжелого ключевого компонента соответственно.

А число теоретических тарелок в колонне находят по зависимости:

$$N = 1,7 \cdot N_{\min} + 0,7. \quad (1.5)$$

Внутренний диаметр колонны рассчитываем по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{сек}}}{\pi \cdot w'}}, \quad (1.6)$$

где $V_{\text{сек}}$ – наибольший секундный объем паров, проходящих через сечение колонны, м³/с;

w' – рабочая скорость паров в полном сечении колонны, м/с.

Остановимся теперь на математическом описании процесса ректификации. Для определенности будем рассматривать тарельчатую ректификационную колонну, содержащую N тарелок, в которой происходит разделение смеси из M компонентов (рис. 1.2).

Исходное питание в количестве F_n состава z_{in} подается на n -ю тарелку колонны. Сверху колонны отбирается дистиллят в количестве D состава x_{Di} , а снизу колонны – кубовый продукт в количестве W состава x_{wi} .

Модель ректификационной колонны основывается на таких допущениях:

- 1) паровая фаза принимается идеальной;
- 2) жидкость на тарелке полностью перемешана.

					<i>XI.P.00.00.00.P3</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

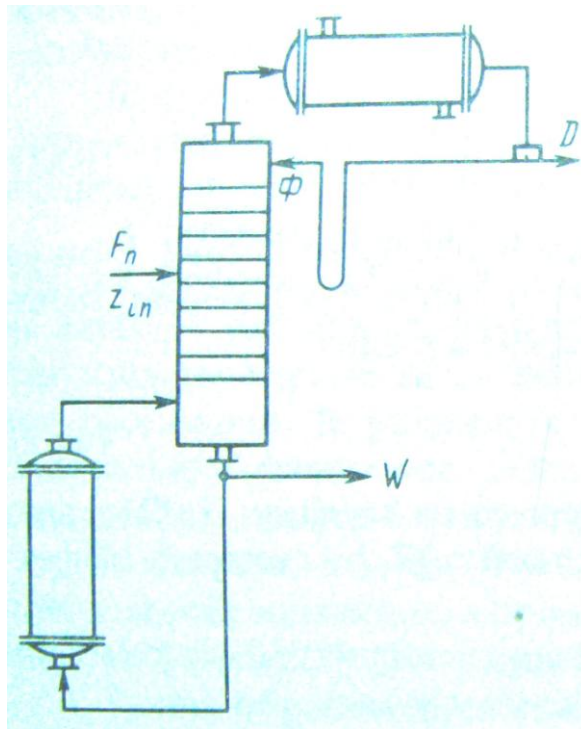


Рисунок 1.2 – Схема ректификационной установки

Схема потоков на тарелках колонны изображена на рис. 1.3.

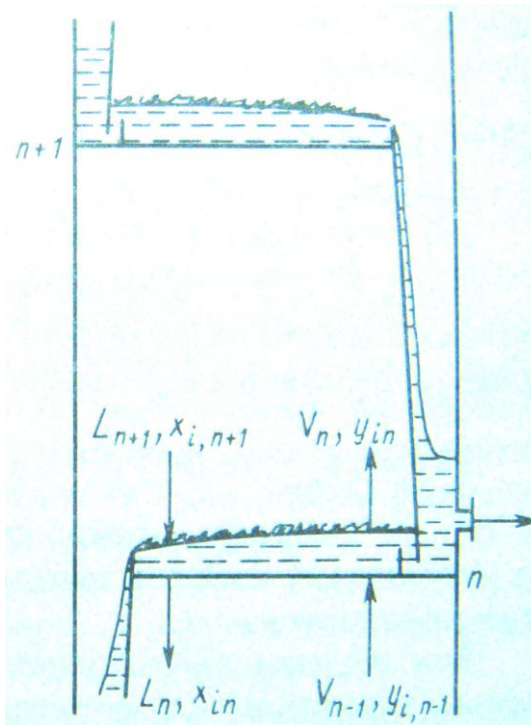


Рисунок 1.3 – Схема потоков жидкости и пара на тарелке ректификационной колонны

Математическое описание включает следующие уравнения:

общего материального баланса на тарелках колонны

$$V_{n-1} + L_{n+1} + F_n - V_n - L_n - S_n = 0, \quad (1.7)$$

покомпонентного материального баланса

$$V_{n-1} \cdot y_{i,n-1} + L_{n+1} \cdot x_{i,n+1} + F_n \cdot z_{in} - V_n \cdot y_{in} - L_n \cdot x_{in} - S_n \cdot x_{in} = 0, \quad (1.8)$$

теплового баланса

$$V_{n-1} \cdot H_{n-1} + L_{n+1} \cdot h_{n+1} + F_n \cdot h_n^F - V_n \cdot H_n - L_n \cdot h_n - S_n \cdot h_n^S = 0, \quad (1.9)$$

фазового равновесия

$$y_{in}^* = K_{in} \cdot x_{in}, \quad (1.10)$$

а также стехиометрические соотношения

$$\sum_{i=1}^M y_{in} = 1, \quad \sum_{i=1}^M x_{in} = 1. \quad (1.11)$$

Здесь x , y , z – составы жидкости, пара и внешнего потока. Если на тарелках колонны не достигается равновесие, то состав покидающего тарелку пара определяется через эффективность тарелки в виде

$$(y) = (y_{n-1}) + [E_T] \cdot (y^* - y_{n-1}), \quad (1.12)$$

					<i>XI.P.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

где (y_{n-1}) – вектор состава пара, поступающего на тарелку; (y^*) – вектор равновесных составов пара над n-й тарелкой; $[E_T]$ – матрица эффективностей тарелки.

Вид матрицы эффективности $[E_T]$ зависит от структуры потока жидкости на тарелке, и в случае идеального вытеснения имеем

$$[E_T] = \frac{L}{V} \cdot \left(\exp \left\{ \frac{V}{L} \cdot [E_1] \cdot [m] \right\} - [I] \right) \cdot [m]^{-1}, \quad (1.13)$$

где $[E_1]$ – матрица локальной эффективности; $[m]$ – матрица линейной аппроксимации равновесной зависимости $y(x) - y(x^0) = [m(x^0)](x - x^0)$. В уравнении (1.9) H и h – соответственно энтальпии пара и жидкости, определяемые выражениями

$$H = \sum_{j=1}^M y_j \cdot H_j^0, \quad (1.14)$$

$$h = \sum_{j=1}^M x_j \cdot H_j^0. \quad (1.15)$$

При расчете равновесия жидкость – пар отклонение от идеальности жидкой фазы учитывается с помощью коэффициента активности γ , определяемого как функция состава и температуры по подходящему уравнению.

Раскрывая константу равновесия K_{in} , уравнение (1.10) можно переписать в виде

$$y_i = \frac{\gamma_i \cdot x_i \cdot P_i^0(T)}{P}, \quad (1.16)$$

где $P_i^0(T)$ – давление паров чистого i -го компонента в зависимости от температуры, определяемое из уравнения

$$\ln P_i^0(T) = A_1 + \frac{A_2}{T} + A_3 T + A_4 \ln(T). \quad (1.17)$$

Здесь P_i^0 выражено в атмосферах, T – в кельвинах.

Система уравнений (1.7) – (1.17) представляет собой математическое описание процесса ректификации.

1.3 Описание ректификационной колонны и выбор основных конструкционных материалов

Нашим объектом разработки является этановая ректификационная колонна – деэтанизатор (рис. 1.4). Конструктивно она состоит из цилиндрической обечайки, к которой при помощи фланцевого соединения прикреплены днище и крышка соответственно. В качестве внутренних контактных устройств используется насадка, которая составлена из колец Палля.

Колонный насадочный аппарат имеет небольшое гидравлическое сопротивление (по сравнению с тарельчатыми колоннами). В нашем случае, насадка засыпана в два слоя. Высота верхнего слоя насадки составляет 1,5 м, а нижнего – 1 м. Размеры кольцевых насадочных тел могут изменяться в пределах от 25 до 150 мм. В данном проекте используем кольца Палля размером 25×25 мм. Поскольку размер насадочных тел не превышает 50 мм, то насадку разрешается засыпать навалом, то есть нерегулярно.

Таким образом, проектируемая ректификационная колонна представляет собой тепло-массообменный аппарат, в котором по высоте (снизу вверх) снижается температура кипения жидкости от максимальной (внизу отгонной части) к минимальной (на верхней тарелке колонны).

					<i>ХИ.Р.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

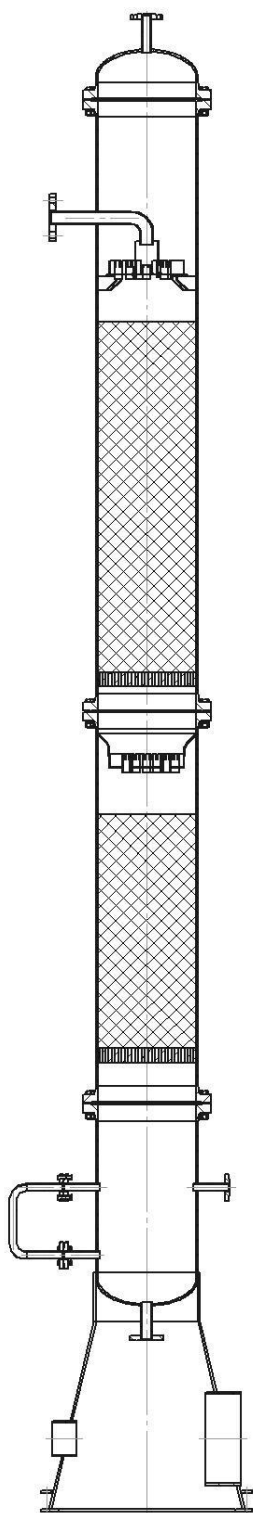


Рисунок 1.3 – Эскиз
деэтанализатора

Внизу колонны температура практически равна температуре кипения высококипящих компонентов при соответствующем давлении в колонне, а на верхней тарелке колонны температура практически равна температуре кипения низкокипящих компонентов.

На колонне также предусмотрены штуцеры для обвязки аппарата технологическими трубопроводами и подключения к технологической линии. Также к корпусу колонны снизу приварена цилиндрическая опора, которая обеспечена лапами для крепления к фундаменту.

Материалы для изготовления химических аппаратов нужно выбирать в соответствии со спецификой их эксплуатации, учитывая при этом возможное изменение исходных физико-химических свойств материалов под воздействием рабочей среды, температуры и протекающих химико-технологических процессов [6].

При выборе материала для изготовления аппарата необходимо учитывать следующее [6]:

- механические свойства материала – предел прочности, относительное удлинение, твердость и т. п.;
- технологичность в изготовлении (в частности, свариваемость);
- химическую стойкость против разъедания;
- теплопроводность и пр.

Например, механические свойства материалов, из которых изготовлена работающая аппаратура, существенно изменяются при низких и высоких температурах. Хорошая свариваемость металлов также является одним из необходимых условий их применения, так как при современной технологии химического аппаратостроения основной способ выполнения неразъемных соединений – как раз сварка [6, 7].

Главным же требованием для материалов химических аппаратов, в большинстве случаев, является их коррозионная стойкость, поскольку она определяет долговечность химического оборудования.

Выбор конструкционного материала выполняем так, чтобы при низкой стоимости и недефицитности материала обеспечить эффективную технологию изготовления изделия. Учитывая все перечисленные параметры, выбираем сталь 16ГС.

Сталь 16ГС – относится к классу низколегированных сталей. Способ поставки – листовая сталь. Характеризуется повышенной прочностью и ударной вязкостью в интервале температур от -70 до $+475^{\circ}\text{C}$. Хорошо деформируется в горячем и холодном состоянии, легко поддается обработке резанием. Очень хорошо сваривается всеми видами сварки. Однако из-за большой вязкости она хуже подвергается механической обработке. Кроме того, сталь неустойчива во многих агрессивных средах [8].

Сталь Ст3 – конструкционная углеродистая обыкновенного качества. Применение: несущие элементы сварных и несварных конструкций, работающих при положительных температурах. Хорошо сваривается всеми видами сварки, не склонна к отпускной хрупкости [8].

Сталь 35Х – конструкционная легированная. Применяется для изготовления улучшаемых деталей. Ограничено свариваемая, склонна к отпускной хрупкости [8].

Паронит – листовой прокладочный материал, изготавливаемый прессованием асбокаучуковой массы, состоящей из асбеста, каучука и

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

порошковых ингредиентов. Применяется для уплотнения соединений, работающих в средах: воды и пара с давлением 5 МН/м² и температурой 450°С; нефти и нефтяных продуктов при температурах 200–400°С и давлениях 7–4 МН/м² соответственно. Для повышения механических свойств паронита, в некоторых случаях, армируют металлической сеткой (называемой ферронит).

					<i>ХИ.Р.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

2 Технологические расчеты процесса и аппарата

2.1 Технологические расчеты

Материальный баланс деэтанализатора [4], соответствующий условиям разделения, приведен в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Материальный баланс деэтанализатора

Компонент	Данные по сырью				
	Концентрация x_{f_i} , масс. доли	Расход		Концентрация $X_{f_i} = \frac{G_{f_i}}{G_f}$, мольн. доли	$M_i \cdot X_{f_i}$
		$g_{f_i} = g_f \cdot x_{f_i}$, кг/час	$G_{f_i} = \frac{g_{f_i}}{M_i}$, кмоль/час		
CH ₄	0,06	120	7,50	0,169	2,70
C ₂ H ₆	0,07	140	4,67	0,105	3,15
C ₃ H ₈	0,30	600	13,64	0,308	13,55
<i>i</i> -C ₄ H ₁₀	0,15	300	5,17	0,117	6,79
<i>n</i> -C ₄ H ₁₀	0,25	500	8,62	0,195	11,31
C ₅ H ₁₂₊	0,17	340	4,72	0,106	7,63
Σ	1,0	2000	44,32	1,0	$M_f = 45,13$
Данные по дистилляту					
Компонент	Расход		Концентрация		$M_i \cdot X_{d_i}$
	g_{d_i} , кг/час	$G_{d_i} = \frac{g_{d_i}}{M_i}$, кмоль/час	$x_{d_i} = \frac{g_{d_i}}{g_d}$, масс. доли	$X_{d_i} = \frac{G_{d_i}}{G_d}$, мольн. доли	
CH ₄	120	7,50	0,443	0,605	9,68
C ₂ H ₆	138,6	4,62	0,512	0,373	11,19
C ₃ H ₈	12	0,27	0,044	0,022	0,97
Σ	270,6	12,39	0,999 ≈ 1,0	1,0	$M_d = 21,84$
Данные по кубовому остатку					
Компонент	Расход		Концентрация		$M_i \cdot X_{w_i}$
	g_{w_i} , кг/час	$G_{w_i} = \frac{g_{w_i}}{M_i}$, кмоль/час	$x_{w_i} = \frac{g_{w_i}}{g_w}$, масс. доли	$X_{w_i} = \frac{G_{w_i}}{G_w}$, мольн. доли	
C ₂ H ₆	1,40	0,047	0,0008	0,0015	0,045
C ₃ H ₈	588	13,36	0,340	0,419	18,44
<i>i</i> -C ₄ H ₁₀	300	5,17	0,173	0,162	9,40
<i>n</i> -C ₄ H ₁₀	500	8,62	0,289	0,270	15,66
C ₅ H ₁₂₊	340	4,72	0,197	0,148	10,66
Σ	1729,4	31,92	0,9998 ≈ 1,0	1,0005 ≈ 1,0	$M_w = 54,21$

Давление в колонне. Согласно задания на квалификационную работу исходный газ для создания необходимых условий выделения этановой фракции сжимают до давления 5 МПа.

Давление вверху колонны P_d принимаем тоже равным 5 МПа. Давление внизу колонны P_w за счет сопротивления насадки принимаем на 0,02 МПа больше, чем вверху [4]: $P_w = 5 + 0,02 = 5,02 \text{ МПа}$.

Температурный режим в колонне.

Температура t_f сырья и температура t_w внизу колонны также определяются методом последовательного приближения (см. табл. 2.2 и 2.3) по уравнениям изотермы жидкой фазы и кубового остатка соответственно:

$$\sum K_i \cdot X_{f_i} = 1, \quad \sum K_i \cdot X_{w_i} = 1. \quad (2.1)$$

Таблица 2.2 – Расчет температуры сырья

Компонент	Константа фазового равновесия K_i при $P_f = 5 \text{ МПа}$ и $t_f = 40^\circ \text{ C}$	Концентрация X_{f_i}	$K_i \cdot X_{f_i}$
CH ₄	3,7	0,169	0,625
C ₂ H ₆	1,0	0,105	0,105
C ₃ H ₈	0,38	0,308	0,117
<i>i</i> -C ₄ H ₁₀	0,25	0,117	0,029
<i>n</i> -C ₄ H ₁₀	0,6	0,195	0,117
C ₅ H ₁₂₊	0,05	0,106	0,005
Σ	—	1,0	$\approx 1,0$

Таблица 2.3 – Расчет температуры кубового остатка

Компонент	Константа фазового равновесия K_i при $P_w = 5,02 \text{ МПа}$ и $t_w = 150^\circ \text{ C}$	Концентрация X_{w_i}	$K_i \cdot X_{w_i}$
C ₂ H ₆	2,6	0,0015	0,004
C ₃ H ₈	1,4	0,419	0,587
<i>i</i> -C ₄ H ₁₀	0,9	0,162	0,146
<i>n</i> -C ₄ H ₁₀	0,75	0,270	0,203
C ₅ H ₁₂₊	0,4	0,148	0,059
Σ	—	1,0005 $\approx 1,0$	$\approx 1,0$

При этом константы фазового равновесия K_i определяются по номограмме [4] в зависимости от давления P и температуры t .

Исходное сырье представляет парожидкостной поток, поэтому температуру дистиллята принимаем равной $t_f = t_d = 40^\circ C$.

Если считать мольный расход паров постоянным по высоте колонны, то тепловую нагрузку (в кДж/с) кипятильника определяем по формуле [4]:

$$Q_w = G_d \cdot (H_w - h_w), \quad (2.2)$$

где H_w – энтальпия кубовых паров при температуре $t_w = 150^\circ C$ давлении $P_w = 5,02 \text{ МПа}$, кДж/кмоль;

h_w – энтальпия кубовой жидкости при температуре $t_w = 150^\circ C$, кДж/кмоль.

Числовые значения энтальпий определяем по графику [5]. Тогда:

$$Q_w = \frac{12,39}{3600} \cdot (39700 - 15200) = 84,3 \frac{\text{кДж}}{\text{с}}.$$

2.2 Конструктивные расчеты

Минимальное число теоретических тарелок в деэтанизаторе определяется по уравнению Фенске-Андервуда в расчете на то, что легким ключевым компонентом по условиям разделения является этан (C_2H_6), а тяжелым ключевым – пропан (C_3H_8) [4]:

$$N_{\min} = \frac{\lg\left(\frac{X_{d2} \cdot X_{w3}}{X_{d3} \cdot X_{w2}}\right)}{\lg\left(\frac{K_2}{K_3}\right)}; \quad (2.3)$$

					<i>XI.P.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

$$N_{\min} = \frac{\lg\left(\frac{0,373 \cdot 0,419}{0,022 \cdot 0,0015}\right)}{\lg\left(\frac{1,0}{0,38}\right)} = 8,75.$$

Число теоретических тарелок в колонне находим по формуле (1.5):

$$N_T = 1,7 \cdot 8,75 + 0,7 = 15,6.$$

Наиболее нагруженным по газу сечением колонны будет сечение под нижним слоем насадки, поэтому расчет диаметра колонны проводим по нижнему сечению аппарата.

Внутренний диаметр колонны рассчитываем по формуле (1.6):

Секундный объем паров в расчетном сечении колонны при температуре $t_w = 150^\circ \text{C}$ и давлении $P_w = 5,02 \text{ МПа}$ определяем по формуле:

$$V_{\text{сек}} = \frac{G_d \cdot 22,4 \cdot (t_w + 273) \cdot 0,1}{3600 \cdot 273 \cdot P_w}; \quad (2.4)$$

$$V_{\text{сек}} = \frac{12,39 \cdot 22,4 \cdot (150 + 273) \cdot 0,1}{3600 \cdot 273 \cdot 5,02} = 2,38 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Скорость захлебывания для колец Палля определяем по формуле [9]:

$$W_3 = \frac{G}{0,785 \cdot D_p^2}; \quad (2.5)$$

$$D_p = 0,339 \cdot \left[\frac{37 \cdot G}{A_0} \cdot \left(\frac{\rho_{\Gamma}}{\rho_{\text{ж}} - \rho_{\Gamma}} \right)^{0,5} - 510 \cdot L \cdot \lg A_1 \right]^{0,5}, \quad (2.6)$$

где A_0 и A_1 – коэффициенты, определяемые по рис. 3.26 [9].

					<i>XI.P.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$D_p = 0,339 \cdot \left[\frac{37 \cdot 2,38 \cdot 10^{-3}}{0,275} \cdot \left(\frac{41}{440-41} \right)^{0,5} - 510 \cdot 7,5 \cdot 10^{-5} \cdot \lg 0,985 \right]^{0,5} = 0,109;$$

$$W_3 = \frac{2,38 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,109^2} = 0,26 \frac{M}{c}.$$

Тогда реальную скорость находим по зависимости:

$$w' = (0,8 \dots 0,9) \cdot W_3; \quad (2.7)$$

$$w' = 0,85 \cdot 0,26 = 0,22 \frac{M}{c}.$$

Диаметр колонны равен:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,38 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,022}} = 0,37 M.$$

Принимаем диаметр деэтанализатора 400 мм.

Высоту слоя насадки, необходимую для обеспечения заданного массообмена, определяем через высоту насадки, эквивалентную теоретической тарелки, и число теоретических тарелок [9]:

$$H = N_T \cdot h_{ЭКВ}. \quad (2.8)$$

Для нерегулярной насадки:

$$h_{ЭКВ} = \left[\left(\frac{K_5}{W} \right) \cdot \left(\frac{\rho_{ж}}{\rho_{г}} \right)^{0,5} \cdot \frac{1}{1+D} \cdot h^{-0,25} \cdot (1 - 60 \cdot K_6 \cdot L_v^{0,5}) \cdot f(d/D) \right]^{-1}, \quad (2.9)$$

					<i>XI.P.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

где W – скорость газа в колонне, м/с;

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости в рабочих условиях, кг/м³;

$\rho_{г}$ – плотность газа в рабочих условиях, кг/м³;

D – внутренний диаметр колонны, м;

Коэффициенты K_5 и K_6 определяем по табл. 3.10 [9]. Для насадки из керамических колец Палля $d = 0,025 м$: $K_5 = 1,6$; $K_6 = 0,1$.

Предельная высота насадки между перераспределительными тарелками в соответствии с табл. 3.1 [9]:

$$h = 3 \cdot D; \quad (2.10)$$

$$h = 3 \cdot 0,4 = 1,2 м.$$

Числовое значение функции $f(d/D) = 1$.

Скорость газа в колонне $W = 0,22 \frac{м}{с}$.

Объемный расход жидкости:

$$L_v = \frac{g}{\rho_{ж} \cdot 0,785 \cdot D^2}; \quad (2.11)$$

$$L_v = \frac{0,556}{440 \cdot 0,785 \cdot 0,4^2} = 0,01 м^3 / (м^2 \cdot с);$$

$$h_{ЭКВ} = \left[\left(\frac{1,6}{0,22} \right) \cdot \left(\frac{440}{41} \right)^{0,5} \cdot \frac{1}{1+0,4} \cdot 1,2^{-0,25} \cdot (1 - 60 \cdot 0,1 \cdot 0,01^{0,5}) \cdot 1 \right]^{-1} = 0,154 м;$$

$$H = 15,6 \cdot 0,154 = 2,41 м.$$

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

Принимаем высоту слоя насадки $H = 2,5\text{ м}$. Насадка в колонне укладывается отдельными слоями на колосниковые решетки. Для эффективной работы насадки сверху необходимо обеспечить равномерное орошение ее поверхности. Несмотря на равномерное орошение жидкость постепенно начинает отдавливаться потоком газа к стенке (возникает пристеночный эффект). При этом возникает зона, в которой насадка не орошается. В связи с этим насадку укладывают отдельными слоями (высота одного слоя составляет $(4...5) \cdot D$), а между слоями устанавливают перераспределительные тарелки, которые собирают жидкость по краям колонны и равномерно орошают следующий слой насадки.

Учитывая вышесказанное, разбиваем наш слой насадки на две составляющие: верхний слой $h_2 = 1500\text{ мм}$, нижний – $h_4 = 1000\text{ мм}$. Между ними устанавливаем перераспределительную тарелку, в результате чего получаем зазор $h_3 = 600\text{ мм}$. На основе практических данных для сепарирования уносимой с газом жидкости расстояние между крышкой колонны и ее верхним слоем насадки принимаем $h_1 = 1000\text{ мм}$; расстояние между днищем и нижним слоем насадки $h_5 = 800\text{ мм}$ (для обеспечения трех-четырех минутного запаса кубовой жидкости внизу колонны).

Рабочая высота колонны:

$$H_p = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5; \quad (2.12)$$

$$H_p = 1,0 + 1,5 + 0,6 + 1,0 + 0,8 = 4,9\text{ м}.$$

Диаметр патрубка определяем по формуле [10]:

$$D = \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot 3600 \cdot 0.785 \cdot \omega}}, \quad (2.15)$$

					<i>ХИ.Р.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

где ω – скорость газа или жидкости, м/с.

Скорость газа принимается в диапазоне 10–15 м/с, а скорость жидкости 0,5–2 м/с [10].

Диаметры патрубков для входа и выхода паров:

$$d_v = \sqrt{\frac{270,6}{41 \cdot 3600 \cdot 0,785 \cdot 5}} = 0,022 \text{ м.}$$

Принимаем диаметры патрубков $d_v = 25$ мм.

Диаметр патрубка для входа исходной смеси:

$$d_f = \sqrt{\frac{2000}{440 \cdot 3600 \cdot 0,785 \cdot 1,0}} = 0,041 \text{ м}$$

Принимаем диаметр патрубка $d_f = 50$ мм.

Диаметр патрубка для выхода кубового остатка:

$$d_w = \sqrt{\frac{1729,4}{500 \cdot 3600 \cdot 0,785 \cdot 1,0}} = 0,035 \text{ м}$$

Принимаем диаметр патрубка $d_w = 40$ мм.

2.3 Гидравлические расчеты

Гидравлический расчет проводим в соответствии с методикой [11].

Для определения гидравлического сопротивления насадочного аппарата предварительно определяем сопротивление сухой насадки по уравнению:

$$\Delta P_{\text{сух}} = \lambda \cdot \left(\frac{H}{d_3} \right) \cdot \left(\frac{w^2 \cdot \rho_{\Gamma}}{2} \right), \quad (2.16)$$

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

где λ – коэффициент сопротивления, учитывающий суммарные потери давления на трение и местные сопротивления насадки;

$d_{\text{э}} = \frac{4 \cdot \varepsilon}{\alpha}$ – эквивалентный диаметр насадки.

Определяем критерий Рейнольдса для газа:

$$\text{Re}_{\Gamma} = \frac{w \cdot d_{\text{э}} \cdot \rho_{\Gamma}}{\mu_{\Gamma}}; \quad (2.17)$$

$$\text{Re}_{\Gamma} = \frac{0,22 \cdot 0,025 \cdot 41}{1,7 \cdot 10^{-5}} = 13265.$$

В нашем случае режим турбулентный, поэтому:

$$\lambda = \frac{16}{\text{Re}^{0,2}}; \quad (2.18)$$

$$\lambda = \frac{16}{13265^{0,2}} = 2,4;$$

$$\Delta P_{\text{СВХ}} = 2,4 \cdot \left(\frac{2,5}{0,025} \right) \cdot \left(\frac{0,22^2 \cdot 41}{2} \right) = 238 \text{ Па}.$$

При работе колонны в пленочном режиме гидравлическое сопротивление орошаемой насадки можно определить приближенно по эмпирическому уравнению:

$$\Delta P_{\text{ОП}} = 10^{b \cdot U} \cdot \Delta P_{\text{СВХ}}, \quad (2.19)$$

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

где b – эмпирический коэффициент, значение которого можно найти по справочным таблицам; для насадки $25 \times 25 \times 3$ мм при $U = (0,5 \dots 36,5) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$ значение $b = 51,2$.

$$\Delta P_{OP} = 10^{51,2 \cdot 18,5 \cdot 10^{-3}} \cdot 238 = 2108 \text{ Па}.$$

2.4 Выбор вспомогательного оборудования

Расчет и выбор насоса для подачи исходного сырья (ШФЛУ) в деэтанализатор [12].

Для всасывающего и нагнетательного трубопроводов примем одинаковую скорость течения жидкости, равную $w = 2 \text{ м/с}$.

Диаметр трубопровода определяем по уравнению:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.20)$$

где V – объемный расход жидкости, перекачиваемой насосом, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$V = \frac{G}{3600 \cdot \rho_{ж}}, \quad (2.21)$$

где G – массовый расход жидкости, перекачиваемой насосом, кг/ч .

$$V = \frac{2000}{3600 \cdot 400} = 1,39 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

$$d = \sqrt{\frac{1,39 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 2}} = 0,029 \text{ м}.$$

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

Принимаем стандартный диаметр трубопровода 32 мм.

Определяем критерий Рейнольдса для жидкости в трубопроводе:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_{жс}}{\mu}; \quad (2.22)$$

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot 0,032 \cdot 400}{1,27 \cdot 10^{-4}} = 201575,$$

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

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,032} = 0,00625.$$

Далее получим:

$$\frac{1}{e} = 160; 560 \cdot \frac{1}{e} = 89600; 10 \cdot \frac{1}{e} = 1600;$$

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

Для зоны, автомодельной по отношению к Re:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}; \quad (2.23)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,00625^{0,25} = 0,031.$$

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

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° $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$.

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

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

Для нагнетательной линии:

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

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

$$\Sigma \xi = 0,65 + 3,3 + 1 = 4,95 .$$

Потерянный напор во всасывающей линии находим по формуле:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_3} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} , \quad (2.24)$$

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

$$h_{П.ВС.} = \left(0,031 \cdot \frac{4}{0,032} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,34 \text{ м} .$$

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

Потерянный напор в нагнетательной линии находим по формуле (2.24):

$$h_{\text{П.НАГ.}} = \left(0,031 \cdot \frac{7}{0,032} + 4,95 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 2,39 \text{ м.}$$

Общие потери напора:

$$h_{\text{П}} = h_{\text{П.ВС.}} + h_{\text{П.НАГ.}}; \quad (2.25)$$

$$h_{\text{П}} = 1,34 + 2,39 = 3,73 \text{ м.}$$

Находим напор насоса по уравнению:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_{\text{ж}} \cdot g} + H_{\text{Г}} + h_{\text{П}}, \quad (2.26)$$

где $(P_2 - P_1)$ – разность давлений в аппарате и в емкости, из которой подается жидкость. В нашем случае эта разность равна 0;

$H_{\text{Г}}$ – геометрическая высота подъема жидкости.

$$H = 5,5 + 3,73 = 9,23 \text{ м.}$$

Полезную мощность насоса определяем по уравнению:

$$N_{\text{П}} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (2.27)$$

где Q – расход жидкости;

H – напор насоса.

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

$$N_{II} = 400 \cdot 9,81 \cdot 1,39 \cdot 10^{-3} \cdot 9,23 = 50,3 \text{ Вт}.$$

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

$$N = \frac{N_{II}}{\eta_{пер} \cdot \eta_n}, \quad (2.28)$$

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:

$$N = \frac{50,3}{1 \cdot 0,6} = 83,9 \text{ Вт}.$$

По [12] выбираем центробежный насос марки X8/18 с такими параметрами: объемная подача насоса $2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$; напор насоса 11,3 м; мощность, потребляемая электродвигателем насоса 3 кВт; частота вращения 48,3 об/с.

Расчет и выбор рефлюксной емкости для жидкого дистиллята [10].

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 $\psi = 0,825$.

Расчетный объем емкости:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \quad (2.29)$$

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

где G – общий расход дистиллята;
 τ – резерв рабочего времени, $\tau = 7$ часов;
 ρ – плотность жидкого дистиллята.

$$V_{EP} = \frac{270,6 \cdot 7}{0,825 \cdot 400} = 5,74 \text{ м}^3.$$

Выбираем емкость вертикального положения для продуктов нефти, химикатов и водных растворов. Вместимость таких емкостей может быть от 5 до 10000 м³.

Задаемся стандартизованным диаметром емкости $D = 1,8$ м, тогда ее высота будет равна:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (2.30)$$

$$H = \frac{5,74}{0,785 \cdot 1,8^2} = 2,25 \text{ м}.$$

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

3 Расчеты аппарата на прочность и герметичность

3.1 Определение толщины стенки корпуса и крышки [13]

Находим величину нормативного допускаемого напряжения для стали 16ГС при расчетной температуре 150°C: $\sigma^* = 161 \text{ МПа}$.

Допускаемое напряжение:

$$[\sigma] = \sigma^* \cdot \eta, \quad (3.1)$$

где $\eta = 1$ – поправочный коэффициент для листового проката.

$$[\sigma] = 161 \cdot 1 = 161 \text{ МПа}.$$

Допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях:

$$[\sigma]_{II} = \frac{\sigma_T^{20}}{1,1}, \quad (3.2)$$

где $\sigma_T^{20} = 280 \text{ МПа}$ – предел текучести стали 16ГС при температуре 20°C.

$$[\sigma]_{II} = \frac{280}{1,1} = 255 \text{ МПа}.$$

В нашем случае расчетное давление будет равно рабочему давлению в аппарате: $P_p = P = 5,02 \text{ МПа}$.

Поскольку расчетное давление больше 0,5 МПа, то пробное давление при гидравлических испытаниях определяем по уравнению:

					<i>XI.P.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

$$P_H = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,25 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]} \\ P_p + 0,3 \end{array} \right\}, \quad (3.3)$$

где $[\sigma]_{20} = \sigma_{20}^* = 170 \text{ МПа}$ – допускаемое напряжение стали 16ГС при температуре 20°C ($\eta = 1$).

$$P_H = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,25 \cdot 5,02 \cdot 170}{161} = 6,63 \text{ МПа} \\ 5,02 + 0,3 = 5,32 \text{ МПа} \end{array} \right\} = 6,63 \text{ МПа} .$$

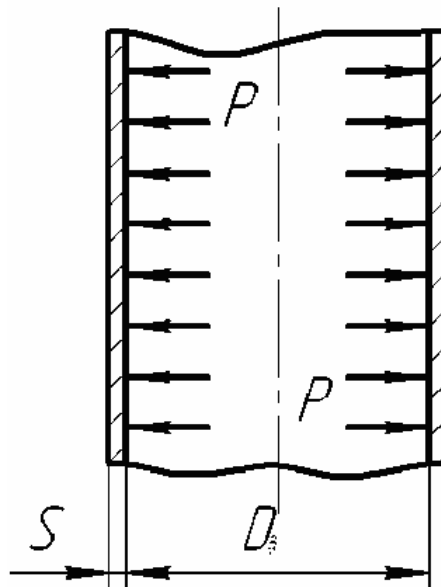


Рисунок 3.1 – Расчетная схема цилиндрической обечайки, нагруженной внутренним давлением

Расчетная толщина цилиндрической обечайки:

$$S_P^H = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - P_p} \\ \frac{P_H \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_H - P_H} \end{array} \right\}, \quad (3.4)$$

					<i>Лист</i>
					34
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>XI.P.00.00.00.ПЗ</i>

где $\phi = 1$ – коэффициент прочности сварных швов с двусторонним сплошным проваром, выполненных автоматической или полуавтоматической сваркой.

$$S_P^H = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{5,02 \cdot 400}{2 \cdot 1 \cdot 161 - 5,02} = 6,33 \text{ мм} \\ \frac{6,63 \cdot 400}{2 \cdot 1 \cdot 255 - 6,63} = 5,27 \text{ мм} \end{array} \right\} = 6,33 \text{ мм}.$$

Исполнительная толщина цилиндрической обечайки:

$$S_{ц} \geq S_P^H + c, \quad (3.5)$$

где c – прибавка к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.6)$$

c_1 – прибавка для компенсации коррозии и эрозии;

c_2 – прибавка для компенсации минусового допуска;

c_3 – технологическая прибавка.

Принимаем, что $c_2 = c_3 = 0$. Прибавку для компенсации коррозии и эрозии определяем по уравнению:

$$c_1 = P \cdot \tau, \quad (3.7)$$

где $P = 0,1 \frac{\text{мм}}{\text{год}}$ – проницаемость материала;

$\tau = 15 \text{ лет}$ – срок службы аппарата.

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

В результате получим:

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

$$S_{\text{ц}} = 6,33 + 1,5 = 7,83 \text{ мм}.$$

Принимаем $S_{\text{ц}} = 8 \text{ мм}$.

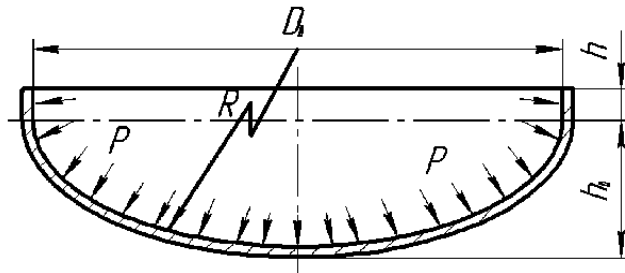


Рисунок 3.2 – Расчетная схема эллиптической крышки, нагруженной внутренним давлением

Расчетная толщина эллиптической крышки:

$$S_p^{\text{э}} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_p} \\ \frac{P_{\text{н}} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_{\text{н}} - 0,5 \cdot P_{\text{н}}} \end{array} \right\}; \quad (3.8)$$

$$S_p^{\text{э}} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{5,02 \cdot 400}{2 \cdot 1 \cdot 161 - 0,5 \cdot 5,02} = 6,29 \text{ мм} \\ \frac{6,63 \cdot 400}{2 \cdot 1 \cdot 255 - 0,5 \cdot 6,63} = 5,23 \text{ мм} \end{array} \right\} = 6,29 \text{ мм}.$$

Исполнительная толщина эллиптического днища:

$$S_3 \geq S_p^3 + c; \quad (3.9)$$

$$S_3 = 6,29 + 1,5 = 7,79 \text{ мм.}$$

Принимаем $S_3 = 8 \text{ мм}$.

3.2 Расчет толщины решетки [6]

Номинальную расчетную высоту решетки определяем по формуле:

$$h' = K \cdot D \cdot \sqrt{\frac{P}{\phi_0 \cdot \sigma_{ид}}}, \quad (44)$$

где ϕ_0 – коэффициент ослабления решетки отверстиями;

$\sigma_{ид}$ – допускаемое напряжение на изгиб для материала решетки, МН/м².

Значения величин K и D определяем по табл. 25.3 [6]: $K=0,47$, $D=D_B$.

$$h' = 0,47 \cdot 0,4 \cdot \sqrt{\frac{5,02}{1 \cdot 140}} = 0,035 \text{ м.}$$

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

4 Монтаж та ремонт аппарата

4.1 Монтаж аппарата [14]

Колонные аппараты, как правило, устанавливают на открытой площадке на разных отметках от земли (на фундаментах, железобетонных постаментов, металлических этажерках). Он должен поставляться на монтажную площадку в максимально готовом виде. Если перевозка полностью собранного аппарата не представляется возможной, его поставляют максимально крупными блоками или отдельными деталями. Во всех случаях завод-изготовитель до отправки на монтажный участок должен произвести контрольную сборку аппарата, нанести на все сопряжения сборочные оси и контрольные риски.

В зависимости от грузоподъемности имеющихся подъемных приспособлений на монтажной площадке производят сборку аппарата из деталей и блоков. Если аппарат можно поднять на фундамент полностью в собранном виде, то после сборки в горизонтальном положении к нему приваривают все обслуживающие металлоконструкции (площадки, лестницы, иногда лестничные клетки), устанавливают запорную арматуру и трубопроводную обвязку и наносят теплоизоляцию. Для выполнения перечисленных работ колонны несколько приподнимают и укладывают на опоры (козлы), изготовленные из профильной стали или труб. В некоторых случаях представляется возможным до подъема и установки аппарата на фундамент произвести также футеровку внутренних стенок.

Трубопроводная обвязка и металлоконструкции, поднимаемые вместе с аппаратом, должны быть жестко соединены с ним. Если рабочим проектом такая жесткость не обеспечена, при монтаже предусматривают временные хомуты, пояса, кронштейны, которые после установки аппарата в проектное положение снимаются.

Согласно инструкции, аппарат поднимают на фундамент после опрессовки и спуска из него опрессовочной жидкости. При подъеме отдельных

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

блоков в зависимости от выбранного способа монтажа разрабатывают конкретную технологию производства работ, предусматривающую максимальное сокращение объема работ, проводимых на высоких отметках.

Отдельные составные части крупногабаритного колонного аппарата доставляют на сборочную площадку, которую следует расположить как можно ближе к тому месту, где в соответствии с проектом должен быть установлен собранный аппарат. Сборочная площадка оснащается стендами, кантователями, сварочными автоматами, подъемно-транспортными механизмами. Здесь производят сборку аппарата из готовых блоков либо сборку крупных блоков из узлов или деталей.

Как уже говорилось, колонные аппараты собирают в горизонтальном положении. Для этого отдельные блоки (части цилиндра) укладывают на сборочные стенды с вращающимися катками – рольганги или на шпалы с ограничительными уголками – упорами. Число опор под каждой стыкуемой частью выбирают в зависимости от массы и сечения аппарат. Расстояние между опорами обычно не превышает 5 м.

В свариваемых стыках тщательно контролируют зазоры, которые должны быть в пределах 2-4 мм, независимо от толщины листов обечаек. Свариваемые кромки тщательно очищают металлическими щетками. Прихватку, как и полную сварку, производят электродами, предусмотренными проектом. Участок территории, где производится сварка, должен быть защищен от атмосферных осадков и ветра для предотвращения загрязнения шва. Желательно сварку производить на роликовом стенде, на раме которого устанавливают один или два сварочных автомата. Для сварки внутреннего шва один автомат размещают внутри аппарата.

После завершения сварки окончательно проверяют все размеры собранного аппарата, которые должны быть в пределах допусков. Корпуса ответственных колонных аппаратов должны удовлетворять следующим требованиям: отклонение длины не должно превышать 0,3 % от проектной;

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

величина кривизны образующей цилиндра на участке 1 м должна быть не более 2 мм, а для аппарата высотой, превышающей 10 м, – не более 3 мм.

Весьма важно правильное расположение на корпусе щуцеров. Для их установки и сварки удобно применять кондукторы и шаблоны.

Технология подъема аппарата является составной частью проекта проведения монтажных работ. Проектом предусматривается подробная схема подъема: указываются места установки мачт или кранов, их положения на различных этапах подъема, расположение лебедок, отводных тросов, полиспастов и т. д. В этом же проекте проводятся технические характеристики всех подъемных средств.

Степень сложности установки колонных аппаратов в проектное положение определяется их габаритными размерами (высотой и диаметром), массой, а также высотой фундамента (постамент). Подъем аппаратов осуществляют кранами или с помощью мачт. Применяют два основных способа подъема: скольжение и поворот вокруг шарнира.

Подъем мачтами способом скольжения. Колонные аппараты больших массы и диаметра в основном поднимают двумя мачтами, что позволяет легко устанавливать аппараты на фундамент. Перед подъемом аппарат располагают как можно ближе к фундаменту. Мачты устанавливают по обе стороны от фундамента вертикально или слегка наклонно. Необходимость в наклоне мачт определяется длиной поднимаемого аппарата, его расположением по отношению к фундаменту, расположением и высотой мачт, принятой схемой строповки.

К опорной части аппарата прикрепляют один или два оттяжных троса, свободные концы которых наматывают на барабаны лебедок. Регулируя оттяжные тросы, поддерживают необходимую траекторию движения колонны при подъеме (или спуске), предотвращая ее раскачивание и вращение. Если схема строповки не обеспечивает вертикального положения поднимаемого

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

аппарата, с помощью оттяжных тросов аппарату перед установкой на фундамент придают требуемое положение.

Для определения участка строповки предварительно находят положение центра тяжести аппарата.

Усилия на элементы такелажных средств удобно определять графически. С этой целью строят графики изменения усилий при подъеме, определяя их максимальные значения, в соответствии с которыми подбирают такелажную оснастку. Значение усилий можно определять и аналитически: исходя из условий равновесия, составляют уравнение, описывающее зависимость искомого усилия от параметров подъема. При расчетах следует учитывать влияние силы трения, возникающей при скольжении опоры о землю. Для уменьшения силы трения, а также для предохранения самой опоры от деформаций под нее обычно подкладывают салазки или листы.

Подъем способом поворота вокруг шарнира. Опорную часть аппарата устанавливают на поворотный шарнир, надежно прикрепленный к фундаменту.

Размеры шарнира и его расположение на фундаменте и опорной части аппарата выбирают таким образом, чтобы после установки аппарата в вертикальное положение вся его опорная поверхность лежала на фундаменте, а оси отверстий на опорном кольце совпадали с осями шахт для фундаментных болтов. Для частичного выравнивания аппарата используют домкраты.

Подъем способом поворота вокруг шарнира на заключительной стадии должен сопровождаться тормозной оттяжкой, обеспечивающей плавное опускание опорной части аппарата на фундамент в результате медленного торможения, осуществляемого с помощью полиспаста и лебедки.

Максимальные усилия в элементах такелажной оснастки возникают в начальный период подъема, поэтому при возможности целесообразно верхнюю часть высоких аппаратов предварительно приподнимать кранами или невысокими мачтами, установленными у места временной строповки. После

					<i>ХИ.Р.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		41

этого в работу вводят основные грузовые полиспасты рабочих мачт, а временные стропы снимают.

Выверка и крепление аппарата к фундаменту. Колонные аппараты выверяют на фундаменте особенно тщательно, так как даже незначительные их отклонения от строгого вертикального положения могут привести к заметной потере устойчивости и нарушению нормальной работы внутренних устройств. Допускаемое отклонение образующей от вертикали должно составлять 0,1 % высоты аппарата, но не более 15 мм.

Проверка на вертикальность производится с помощью теодолитов, которые устанавливают в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, проходящих через ось выверяемого аппарата. Чтобы избежать ошибок, желательно производить проверку в таких условиях, когда исключена возможность одностороннего нагревания стенок корпуса аппарата солнечными лучами.

Проверка высоты расположения опорной плоскости аппарата производится нивелиром от нанесенной на фундаменте нивелирной отметки.

Аппарату придают нужное положение, подкладывая под его опорную поверхность стальные подкладки, после чего прикрепляют к фундаменту фундаментными болтами. Зазоры между фундаментом и опорной поверхностью аппарата заполняют цементным раствором.

4.2 Ремонт аппарата

Характер износа [14]. Большинство колонных аппаратов работает при высокой температуре под давлением или в вакууме и содержит огне- и взрывоопасные среды. Корпуса колонных аппаратов и их внутренние устройства могут изнашиваться в результате коррозионного, эрозионного и термического воздействия среды. Скорость износа зависит от многих факторов, и в первую очередь – от физико-химических свойств среды, условий ведения

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

процесса, конструктивного исполнения и качества металла корпуса, применения соответствующих ингибиторов коррозии.

Стоимость колонн обычно очень высока, демонтаж и монтаж их – кропотливый, трудоемкий и продолжительный процесс. Смена колонных аппаратов производится в подавляющем большинстве случаев вследствие износа корпусов. Поэтому при эксплуатации необходимо принять надежные меры для предохранения корпусов от преждевременного износа. Коррозионная стойкость корпусов ректификационных колонн должна быть не выше семи баллов при оценке по десятибалльной шкале, а в случае колонн больших диаметра и высоты – не выше пяти баллов, т. е. скорость коррозии не должна превышать 0,1 мм/год.

Колонные аппараты подвержены коррозии различных видов. Она охватывает всю поверхность корпуса или отдельные ее участки. Так, в ректификационных колоннах нефтеперерабатывающих заводов химической коррозии подвергаются в основном участки, работающие в условиях повышенных температур. Агрессивными составляющими сред в колоннах являются сернистые соединения и продукты их разложения, содержащиеся в нефтях нафтеновые кислоты.

Электрохимической коррозии подвержены участки ректификационных колонн, на которых возможны образование гальванических пар и возникновение коррозионного электрического тока. Такая коррозия, в частности, наблюдается в верхней части ректификационных колонн атмосферных установок для переработки нефти, где вместе с парами углеводородов интенсивно конденсируются водяные пары. Вода гидролизует содержащиеся в сырье и дистиллятах хлориды магния и кальция; получающийся в результате хлористый водород образует в водной среде электролит – соляную кислоту.

Эрозионный износ корпусов колонн является следствием воздействия сильных струй жидкости и паровых потоков, содержащих абразивные

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

включения. Участки корпусов, подверженные эрозии, защищают протекторами и специальными устройствами, уменьшающими кинетическую энергию струй жидкости и пара (улиты, маточки и т. д.).

Износ колонных аппаратов опасен не только из-за нарушения их прочности; образовавшиеся продукты коррозии могут закупорить или загрязнить трубопроводы небольшого сечения, теплообменники и конденсаторы.

Подготовка колонных аппаратов к ремонту [15]. Колонные аппараты ремонтируют при планово-предупредительных ремонтах технологической установки. Порядок подготовки аппарата к ремонту и проведения ремонтных работ зависит от особенностей установки.

В большинстве случаев колонные аппараты готовят к ремонту следующим образом. Доводят давление в колонне до атмосферного, из аппарата удаляют рабочую среду, после чего его пропаривают водяным паром, который вытесняет оставшиеся в колонне пары и газы. После пропарки колонну промывают водой. В некоторых случаях пропарку и промывку чередуют несколько раз. Время операций оговаривается в производственной инструкции (технологическом регламенте) каждой технологической установки или технологического блока.

Промывка колонн водой способствует также более быстрому их остыванию. Нельзя приступать к ремонтным работам, если температура промывной воды превышает 50°C.

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

Технология ремонта [14]. Ремонт аппарата начинают с его вскрытия, которое необходимо производить, строго соблюдая следующие правила. Доступ людей в колонну возможен, если концентрация углеводородов в пробе не

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

превышает 300 мг/м³, а содержание сероводорода – 10 мг/м³. Предельно допустимые концентрации других веществ указываются в технологической карте (технологическом регламенте) каждой установки, блока или отделения. При работе внутри колонны необходимо тщательно соблюдать правила техники безопасности. Рабочий должен надевать предохранительный пояс с веревкой, конец которой выводится наружу и надежно закрепляется; за работой находящегося внутри колонны рабочего постоянно наблюдает специально выделенный для этой цели рабочий. Продолжительность непрерывной работы в колонне должна быть не более 15 мин. После этого необходим такой же по продолжительности отдых вне колонны (обычно рабочий и наблюдатель меняются местами). При первых же признаках появления внутри ремонтируемого аппарата взрывоопасных, горючих или токсичных жидкостей, паров и газов всякую работу следует немедленно прекратить. Подготовке колонны предъявляют особенно высокие требования в том случае, если в ней должны производиться огневые (сварочные) работы. Участок колонны, на котором производится сварка, отделяется металлическими или пропитанными водой деревянными настилами, накрытыми кошмой. Для освещения внутри колонны применяют лампы напряжением не более 12 В. Переносное освещение должно быть взрывобезопасным. Корпус колонны, а также ее внутренние устройства подвергают тщательному осмотру. При необходимости осмотра всей поверхности корпуса разбирают внутренние устройства или их часть. Например, в ректификационных колоннах для доступа к тарелкам, на уровне которых люки отсутствуют, разбирают проходы на тарелках, лежащих выше. Выявление дефектов корпуса, требующее высокой квалификации, включает визуальный осмотр для определения общего состояния корпуса и участков, подверженных наибольшему износу; измерение остаточной толщины корпуса с помощью ультразвуковых дефектоскопов, путем микрометрирования и контрольного просверливания отверстий; проверку на плотность сварных швов и разъемных соединений и т. д.

					<i>ХИ.Р.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		45

По характеру обнаруженного дефекта устанавливают содержание и способ ремонта корпуса. Неплотные сварные швы вырубают, зачищают и заваривают соответствующим электродом. Весьма важно правильное перекрытие нового и старого швов.

Изношенные штуцера 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 каждом ремонте измеряют фактическую толщину стенки корпуса эксплуатируемого колонного аппарата. Наиболее изношенные участки корпуса колонны вырезают, а на их место ставят новый участок, заранее свальцованный по радиусу колонны. Сварку производят встык. Вырезание больших участков корпуса может привести к ослаблению сечения и нарушению устойчивости. Поэтому до вырезания дефектного участка его укрепляют стойками, проставляемыми внутри или снаружи (рис. 4.1). Число и сечение стоек и размеры опорных лап рассчитывают исходя из условия равенства их сопротивлений сопротивлению вырезанного сечения.

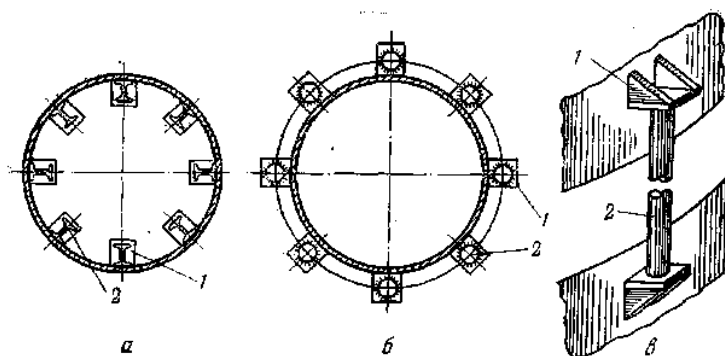


Рисунок 4.1 – Усиление колонны в местах вырезаемых поясов:

а – внутренними стойками; б – наружными стойками;

в – схема крепления стойки; 1 – лапа; 2 – стойка

Промежуточные обечайки легко заменяют следующим образом. Устанавливают подъемные мачты, удерживающие верхнюю неповрежденную часть колонны, отделяют эту часть от поврежденного участка газорезкой и опускают на землю. Поврежденную часть колонны строят и с помощью тех же мачт опускают на землю. Заранее подготовленную новую часть колонны поднимают и стыкуют с нижней частью колонны, затем поднимают верхнюю ее часть.

Очень часто, учитывая трудоемкость таких замен участков корпуса, признают целесообразной полную замену изношенной колонны. Демонтаж изношенной колонны производят в порядке, обратном монтажу. После соответствующих проверок демонтируемая колонна может быть использована для установки монтажных мачт точно так же, как новая колонна – для демонтажа.

Ремонт внутренних устройств [15]. При ремонте внутренние устройства колонн очищают от грязи, кокса и других отложений. Твердую и тестообразную массу выгребают лопаточками или скребками-чистилками, кокс удаляют с помощью пневматических отбойных молотков. Удаление отложений всегда сопровождается повышением концентрации вредных газов в колонне; в этот период внутри колонны рекомендуется работать в шланговых противогазах.

Ремонт внутренних устройств связан с многократным подъемом новых и спуском изношенных деталей; такие операции желательно механизировать. К верхней части корпуса колонны крепят поворотный или неподвижный кран-укосину (рис. 4.2). Кран можно прикрепить также к стойкам центральных пилонов лестничных клетей. Электролебедку с электродвигателем во взрывобезопасном исполнении или пневмолебедку к крану-укосине устанавливают у основания колонны или на площадке, которую обслуживает кран-укосина.

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

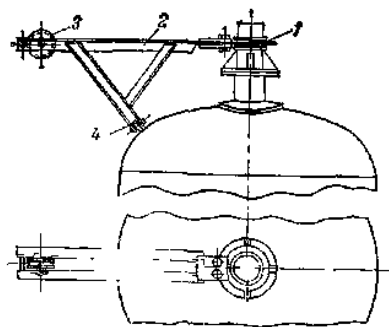


Рисунок 4.2 – Кран-укосина на корпусе аппарата:

1 – стойка; 2 – кронштейн; 3 – блок; 4 – ролик

Определение износа и отбраковка внутренних устройств производится согласно действующим методикам и нормам. Изношенные детали, а иногда и целые узлы заменяют новыми.

5 Охрана труда

Закон Украины «Об охране труда»

Закон Украины «Об охране труда» – это закон Украины, определяющий основные положения по реализации конституционного права граждан на охрану их жизни и здоровья в процессе трудовой деятельности, регулирует при участии соответствующих государственных органов отношения между собственником предприятия, учреждения и организации или уполномоченным им органом (далее – собственник) и работником по вопросам безопасности, гигиены труда и производственной среды и устанавливает единый порядок организации охраны труда в Украине. Принятый 14 октября 1992 г.; закон действует в редакции от 21 ноября 2002 с изменениями и дополнениями [16].

ЗУ «Об охране труда» состоит из девяти разделов, содержащих общие положения по охране труда, гарантии прав на охрану труда, организацию охраны труда, стимулирование охраны труда, нормативно-правовые акты по охране труда, государственное управление охраной труда, государственный надзор и общественный контроль за охраной труда, ответственность за нарушение законодательства об охране труда и заключительные положения [17].

Так, в разделе I «Общие положения» (статья 1) приводятся определения понятий «охрана труда», «работодатель», «работник», и определяется действие этого Закона (статья 2), который распространяется на всех физических и юридических лиц [18].

ЗУ «Об охране труда» определяет, что охрана труда – это система правовых, социально-экономических, организационно-технических, санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, направленных на сохранение жизни, здоровья и работоспособности человека в процессе именно трудовой деятельности (а не труда, как это было предусмотрено ранее) [17].

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

В статье 3 говорится о том, что при заключении международных договоров, на обязательность которых дала согласие Верховная Рада Украины, в которых установлены иные нормы, чем те, которые предусмотрены законодательством Украины об охране труда, применяются нормы международного договора. Основными принципами государственной политики в области охраны труда (статья 4) приоритет жизни и здоровья человека перед любыми результатами производственной деятельности, ее социальной защите и возмещения вреда, причиненного здоровью, обучение по вопросам охраны труда, полной ответственности работодателя за создание безопасных и здоровых условий труда путем сплошного контроля и пр. [18].

В разделе II «Гарантии прав граждан на охрану труда» предусмотрено, что работодатель обязан информировать работника об условиях труда; выплачивать компенсацию за вредные условия труда или в случае смерти; обеспечивать социальное страхование от несчастных случаев и профзаболеваний (оплата из Фонда социального страхования от несчастных случаев); возмещать вред, причиненный работнику на производстве; письменно, не позднее чем за 2 месяца, информировать работника об изменениях производственных условий или льгот; обеспечивать спецодеждой и средствами индивидуальной защиты в соответствии с действующими нормативами и условиями коллективного договора; зафиксировано право работника отказаться от выполнения работ, если это угрожает его здоровью и жизни, и др.

В Законе есть статьи об охране труда женщин, несовершеннолетних, инвалидов.

В разделе III «Организация охраны труда» говорится о том, что работодатель обязательно создает систему управления охраной труда на предприятии и обеспечивает ее функционирования для достижения установленных нормативов и повышения существующего уровня охраны труда. В разделе приведены обязанности работников: заботиться о здоровье и

					<i>ХИ.Р.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		50

безопасности как личной, так и окружающих; знать и выполнять требования нормативно-правовых актов по охране труда; проходить установленные законодательством медицинские осмотры. Работник несет непосредственную ответственность за нарушение указанных требований.

В статье 15 говорится о создании на предприятии службы охраны труда при количестве работающих – 50 и более человек, при меньшей численности – возглавляет службу охраны труда совместитель или сторонний специалист на договорных началах (в соответствии с Типовым положением о службе охраны труда). Служба охраны труда подчиняется работодателю, а ее руководители и специалисты по своей должности и заработной плате приравниваются к руководителям и специалистам основных производственно-технических служб. Работники службы имеют право выдавать руководителям структурных подразделений предприятия обязательные для исполнения предписания, приостанавливать работу производства, участка, машины или оборудование в случае нарушений правил безопасности, создающих угрозу жизни или здоровью работающих и др. Ликвидация службы охраны труда допускается только в случае ликвидации предприятия. Для помощи службе охраны труда на предприятии, согласно Типовому положению, может быть создана комиссия по вопросам охраны труда. Решение комиссии носит рекомендательный характер.

Все работники при приеме на работу и в процессе работы должны проходить за счет работодателя инструктаж, обучение по вопросам охраны труда и правил оказания первой медицинской помощи пострадавшим и правил поведения в случае возникновения аварии (статья 18). Обучение и проверка знаний должна осуществляться один раз в год для работников, занятых на работах с повышенной опасностью, и один раз в 3 года для всех должностных лиц (в соответствии с типовым положением, утвержденным специально уполномоченным центральным органом надзора за охраной труда).

В статье 19 говорится, что финансирование охраны труда осуществляется работодателем. Для предприятий, независимо от формы собственности, или

					<i>ХИ.Р.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		51

физических лиц, использующих наемный труд, расходы на охрану труда составляют 0,5 % от суммы реализованной продукции. Для предприятий, финансируемых из государственного или местного бюджетов, на охрану труда предполагается тратить не менее 0,2 % от фонда оплаты труда. Финансирования общегосударственных, отраслевых, региональных программ и профилактических мероприятий по охране труда осуществляется из государственных и местных бюджетов и других источников финансирования, определенных законодательством. Законом предусмотрено вносить в коллективный договор, соглашение социальные гарантии для работников предприятия по вопросам охраны труда (статья 20) с определением их финансирования. Здания, сооружения, оборудование, машины, механизмы, транспортные средства должны соответствовать требованиям нормативно-правовых актов по охране труда, перед введением в действие, должны пройти экспертизу (статья 21). Расследование и учет несчастных случаев, профессиональных заболеваний и аварий организует работодатель (статья 22) в соответствии с положением, утверждаемым Кабинетом Министров Украины. В статье 23 предусматривается предоставление информации работодателем Фонда социального страхования от несчастных случаев о состоянии охраны труда. Эта информация должна доводиться до всех работников предприятия, а также направляться в органы государственного управления и государственного надзора. В соответствии с Законом (статья 24), могут создаваться добровольные объединения (ассоциации, общества) граждан, работников и специалистов с целью улучшения охраны труда.

В разделе IV – «Стимулирование охраны труда» говорится об экономическом стимулировании работников (статья 25) за активное участие и инициативу в введении мер по повышению уровня безопасности труда, которое осуществляется в соответствии с коллективным договором, соглашением и законодательством. Возмещение убытков (статья 26) за нарушение правил охраны труда – государству, юридическим и физическим лицам – в

					<i>ХИ.Р.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		52

соответствии с действующим законодательством. Расходы на спасение пострадавших при аварии и ликвидации ее последствий, на расследование ее причин, а также другие расходы, предусмотренные законодательством, возмещает работодатель.

Раздел V – «Нормативно-правовые акты по охране труда». К ним относятся правила, нормы, регламенты, положения, стандарты, инструкции и другие документы, обязательные для исполнения. Они пересматриваются по мере необходимости, но не реже одного раза в 10 лет. Стандарты, технические условия и другие документы на средства труда и технологические процессы должны содержать требования по охране труда и согласовываться с органами государственного надзора за охраной труда. Действие нормативно-правовых актов по охране труда распространяется на сферу трудового и профессионального обучения.

Раздел VI – «Государственное управление охраной труда» (статья 32) – определяет органы государственного управления охраной труда и их компетенцию – Кабинет Министров (обеспечивает реализацию государственной политики в области охраны труда); специально уполномоченный центральный орган исполнительной власти; Совет министров АР Крым, местные государственные администрации и органы местного самоуправления. С целью координации деятельности органов государственного управления охраной труда создается Национальный совет по вопросам безопасности жизнедеятельности населения, которую возглавляет вице-премьер-министр Украины. Министерства и другие центральные органы исполнительной власти проводят единую научно-техническую политику по вопросам охраны труда, разрабатывают и реализуют отраслевые программы, осуществляют методическое руководство деятельностью предприятий отрасли, осуществляют ведомственный контроль за состоянием охраны труда, заключают с отраслевыми профсоюзами соглашения по вопросам охраны труда и др. (Статья 33). Специально уполномоченный центральный орган

исполнительной власти по надзору за охраной труда осуществляет контроль и комплексное управление охраной труда на государственном уровне, занимается нормотворческой деятельностью и др. Решения, принятые специально уполномоченным центральным органом исполнительной власти по надзору за охраной труда в пределах его компетенции, являются обязательными для выполнения всеми министерствами, другими центральными органами исполнительной власти, Советом министров Автономной Республики Крым, местными государственными администрациями, органами местного самоуправления, юридическими и физическими лицами.

Статьи 34, 35, 36 содержат положения о полномочиях Совета министров АР Крым, местных государственных администраций, органов местного самоуправления. Научные исследования по проблемам охраны труда (статья 37) проводятся научно-исследовательскими институтами, проектно-конструкторскими учреждениями и организациями в рамках общегосударственной и других программ по этим вопросам – научно-исследовательскими институтами, проектно-конструкторскими учреждениями и организациями, высшими учебными заведениями и специалистами.

Раздел VII – «Государственный надзор и общественный контроль за охраной труда». Государственный надзор (статья 38) осуществляют: специально уполномоченный центральный орган исполнительной власти по надзору за охраной труда – Госнадзорохрантруда; специально уполномоченный государственный орган по вопросам радиационной безопасности – Государственный комитет Украины по ядерной и радиационной безопасности; специально уполномоченный государственный орган по вопросам пожарной безопасности – Управление пожарной охраны МЧС Украины; специально уполномоченный государственный орган по вопросам гигиены труда – Санитарно-эпидемиологическая служба Минздрава Украины. В статьях 39 и 40 определяются права и ответственность, а также социальную защиту

					<i>XI.P.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		54

должностных лиц специально уполномоченного центрального органа исполнительной власти по надзору за охраной труда.

Общественный контроль за соблюдением законодательства об охране труда (статья 41) осуществляют профсоюзы, их объединения в лице своих выборных органов и представителей. В случае отсутствия профсоюза общественный контроль осуществляет уполномоченное наемными работниками лицо, наделенное правом проверять состояние охраны труда (статья 42) и действует в соответствии с типовым положением.

Раздел VIII – «Ответственность за нарушение законодательства об охране труда». За нарушение законодательства об охране труда предусмотрен штраф (статья 43), максимальный размер которого составляет 5 % месячного фонда заработной платы юридического или физического лица, использующего наемный труд. Средства от штрафов зачисляются в Государственный бюджет. Ответственность за нарушение требований по охране труда (статья 44) предусматривается дисциплинарная, административная, материальная и уголовная.

Раздел IX. «Заключительные положения». Закон вступает в силу со дня его опубликования, а часть четвертая статьи 19 – с 1 января 2003

Для практической реализации Закона «Об охране труда» был принят 15 декабря 1993 Закон Украины «О внесении изменений и дополнений, касающихся охраны труда, в Кодекс законов о труде Украины», а также Закон Украины «О внесении изменений и дополнений в Кодекс Украины об административных правонарушениях и Уголовный кодекс Украины »от 15 января 1995 года и ряд подзаконных актов, утвержденных постановлением Кабинета Министров: Положение о создании Национального Совета по вопросам безопасности жизнедеятельности населения, Положения о расследовании и учете несчастных случаев, профессиональных заболеваний и аварий на предприятиях, в учреждениях и организациях, Правила возмещения собственником предприятия, учреждения, организации или уполномоченным

					<i>ХИ.Р.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		55

им органом вреда, причиненного работнику повреждением здоровья, связанным с исполнением трудовых обязанностей, Положение о порядке наложения штрафов на предприятия, учреждения и организации за нарушение нормативных актов об охране труда и др. Госнадзорхрантруда разработал еще целый ряд положений, направленных на практическую реализацию Закона Украины «Об охране труда» [18].

Таким образом, как межотраслевой институт охраны труда является целостной системой норм различной отраслевой принадлежности, регулирующей специальные меры по охране здоровья отдельных категорий граждан, занятых в сфере труда, от неблагоприятного воздействия производственных факторов на их работоспособность [17].

					<i>ХИ.Р.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		56

Список использованных источников

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
2. Укрнафтомаш. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrneftemash.com/ua/mini-npz/>
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. Лазинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лазинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
7. Лазинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лазинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
8. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – Под общ. ред. Сорокина В. Г. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.
9. Тютюнников А.Б. Контактні елементи масообмінних колон : Навч. посібник / А.Б. Тютюнников, Л.Л. Товажнянський, А.П. Готлинська. – Київ : ІСДО, 1993. – 440 с.
10. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учеб. пос. для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.

					<i>ХИ.Р.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		57

11. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 с.

12. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.

13. 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 [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Л. : Машиностроение, 1984. – 301 с.

14. 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.

15. Ермаков В.И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В.И. Ермаков, В.С. Шейн. – Л. : Химия, 1981. – 368 с.

16. Закон України «Про охорону праці» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Закон_України_«Про_охорону_праці»

17. Федерація профспілок працівників малого та середнього підприємництва України. Закон України «Про охорону праці» № 2694-12 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://federation.org.ua/zakonodavstvo/zakon-ukraini-pro-okhoronu-pratsi-2694-12.html>

18. Основи охорони праці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://library.if.ua/book/9/883.html>

					<i>ХИ.Р.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58