

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра "Процеси та обладнання хімічних
і нафтопереробних виробництв"

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра
зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
освітня програма "Обладнання нафто- та
газопереробних виробництв"

Тема роботи: Установка отримання технічного пропану і
бутану. Розробити бутанову колону

Виконав:
студент групи ХМ – 61/2 НГін.

Джая Куеста Алесандер Джованні

підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, ст. викл.

Острога Руслан Олексійович

підпис, дата

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

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

Курс 4 Група ХМ – 61/2 НГін.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студент Джая Куеста Алесандер Джованні

1 Тема проекту: Установка отримання технічного пропану і бутану.
Розробити бутанову колону

2 Вихідні дані: Нестабільний бензин має наступний склад (мас. частки): $C_3H_8 = 0,006$; $i-C_4H_{10} = 0,171$; $n-C_4H_{10} = 0,415$; $C_5H_{12+} = 0,408$. Нормальний бутан в дистилаті повинен міститися у кількості 0,98 мас. частки; вміст усього пентану у стабільному бензині має становити 0,99 мас. частки; продуктивність апарату за сировиною 18000 кг/год.

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

1. Технологічна схема установки – 1,0 арк.
2. Складальний кресленик ректифікаційної колони – 1,0 арк.
3. Складальний кресленик клапанної тарілки – 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	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 2019 р.

Керівник

підпис

ст. викл. Острога Р.О.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 54 с., 2 рис., 7 табл., 2 приложения, 20 источников.

Графические материалы: технологическая схема установки получения технического пропана и бутана, сборочный чертеж бутановой колонны, сборочный чертеж клапанной тарелки – всего 3 листа графической части (3,0×А1).

Тема квалификационного проекта: «Установка получения технического пропана и бутана. Разработать бутановую колонну».

В работе приведены теоретические основы и особенности процесса ректификации многокомпонентных смесей, обоснован выбор конструктивных материалов для изготовления основных деталей и узлов проектируемого аппарата, выполнены технологические и проектные расчеты, рассчитано гидравлическое сопротивление клапанной тарелки и всего аппарата. Произведено выбор вспомогательного оборудования. Проверочными расчетами на прочность и герметичность доказана надежность работы колонного аппарата. Отдельным разделом представлены монтаж ректификационной колонны и ремонт основных его составляющих единиц. В разделе «Охрана труда» рассмотрена характеристика и воздействие на организм человека, нормирование и защита от ионизирующего излучения.

Ключевые слова: УСТАНОВКА, ПРОПАН, БУТАН, РЕКТИФИКАЦИЯ, БУТАНОВАЯ КОЛОННА, КЛАПАННАЯ ТАРЕЛКА, ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.

Содержание

	С.
Введение	5
1 Технологическая часть	6
1.1 Описание технологической схемы установки	6
1.2 Теоретические основы процесса	8
1.3 Описание объекта разработки и выбор основных конструктивных материалов	11
2 Технологические расчеты процесса и аппарата	15
2.1 Технологические расчеты	15
2.2 Тепловые (энергетические) расчеты	20
2.3 Конструктивные расчеты	21
2.4 Гидравлическое сопротивление аппарата	27
2.5 Выбор вспомогательного оборудования	29
3 Расчеты аппарата на прочность и герметичность	33
3.1 Определение толщины стенки корпуса аппарата	33
3.2 Определение толщины стенки днища, крышки	35
4 Монтаж и ремонт аппарата	36
4.1 Монтаж аппарата	36
4.2 Ремонт аппарата	41
5 Охрана труда	45
Список литературы	53
Приложение А – Прочностные расчеты аппарата с использованием ЭВМ	
Приложение Б – Спецификации к чертежам	

					<i>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Джая А.			<i>Установка получения технического пропана и бутана Бутановая колонна Пояснительная записка</i>	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Острога					4	54
Реценз.						СумГУ гр. ХМ-61/не		
Н. Контр.								
Утверд.		Склабинский						

Введение

В химической промышленности осуществляются разнообразные процессы, в которых исходные материалы в результате химического взаимодействия претерпевают глубокие превращения, сопровождающиеся изменением агрегатного состояния, внутренней структуры и состава веществ. Наряду с химическими реакциями, являющимися основой химико-технологических процессов, последние обычно включают многочисленные физические (в том числе и механические) и физико-химические процессы. К таким процессам относятся: перемещение жидкостей и твердых материалов, измельчение и классификация последних, сжатие и транспортирование газов, нагревание и охлаждение веществ, их перемешивание, разделение жидких и газовых неоднородных смесей, выпаривание растворов, сушка материалов и др. При этом способ проведения указанных процессов часто определяет возможность осуществления, эффективность и рентабельность производственного процесса в целом. Таким образом, технология производства самых разнообразных химических продуктов и материалов (кислот и щелочей, солей, минеральных удобрений красителей, полимерных и синтетических материалов, пластических масс) включает ряд однотипных физических и физико-химических процессов, характеризующих общими закономерностями.

К одним из основных процессов химической промышленности относится ректификация, предназначенная для разделения различных по температуре кипения жидкостей на отдельные компоненты. Разделение жидких однородных растворов и газовых смесей на индивидуальные практически чистые компоненты или их фракции методами ректификации широко применяется как основной технологический процесс во многих производствах химической и нефтеперерабатывающей отраслях промышленности. Кроме того, ректификация используется в спиртовой промышленности, в технологиях получения редких и рассеянных элементов, в установках разделения природного газа и воздуха.

Квалификационная работа бакалавра выполнена по методическим указаниям [1] с представлением всех нормативных разделов.

					<i>ПОХНП.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 установки

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

- 1) выделение углеводородов C_3 и выше из газообразного сырья конденсационно-компрессионным или абсорбционным методом;
- 2) деэтанзация сырья;
- 3) ректификация жидких углеводородов;
- 4) очистка сырья и готовой продукции.

Представленная на рис. 1.1 установка предназначена для выделения фракций индивидуальных углеводородов.

Перед поступлением в систему ректификационных колонн сырьё проходит несколько предварительных стадий. В системе газосепараторов высокого давления обеспечивается высокая степень разделения газовой и жидкой фаз, что является необходимым условием для последующего тонкого разделения (фракционирования) и получения стабильного бензина с использованием 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.

Далее газовая смесь проходит ступень компримирования и охлаждения в водяном и аммиачном холодильниках (ступени сепарации и компримирования на схеме не представлены). После прохождения ступени компримирования газовая фаза в сборнике смешивается с нестабильными жидкими отгонами с установок риформинга и поступают в теплообменник Т, где подогревается и направляется в ректификационную колонну П. Верхним продуктом колонны П является пропановая фракция, которая выходит из колонны в виде газовой фракции и поступает для охлаждения в ABO_1 и конденсатор-холодильник KX_1 .

					<i>ПОХНП.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

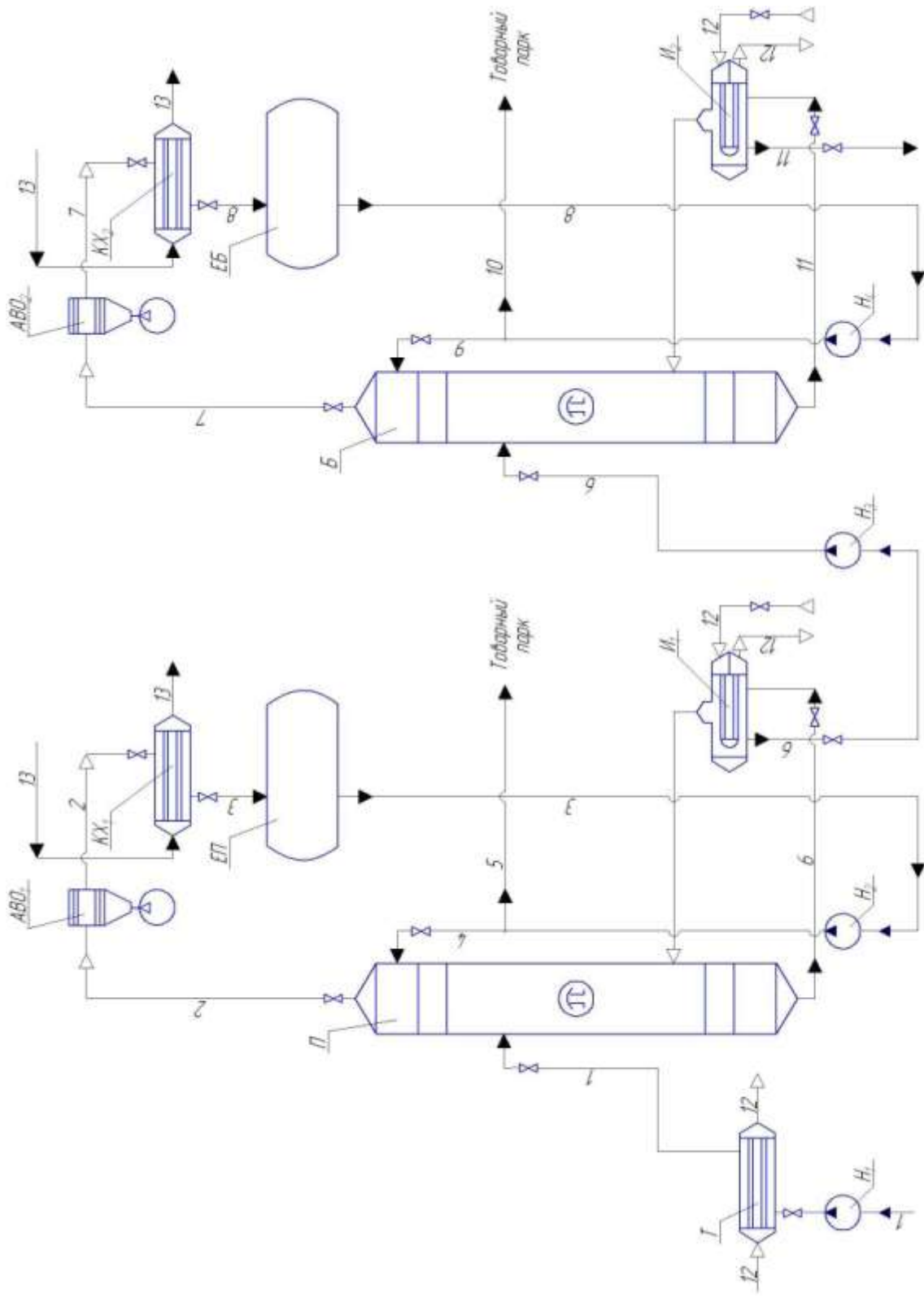


Рисунок 1.1 – Принципиальная технологическая схема основных потоков установки получения технического пропана и бутана

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ

Далее уже жидкий пропан поступает в емкость технического пропана ЕП и часть его идет на орошение депропанизатора, а часть направляется в товарный парк. Кубовый продукт ректификационной колонны П делится также на два потока, один из которых проходя испаритель I_1 возвращается в колонну, а второй направляется в колонну Б.

Верхним продуктом колонны Б является бутановая фракция, которая выходит из колонны в газообразном состоянии. Проходя аппарат воздушного охлаждения ABO_2 и конденсатор-холодильник KX_2 , он конденсируется и направляется в емкость технического бутана ЕБ. Откуда часть жидкого бутана идет на орошение дебутанизатора, а часть – в товарный парк. Кубовый продукт ректификационной колонны Б (стабильный бензин) делится также на два потока, один из которых проходя испаритель I_2 возвращается в колонну, а второй выводится за пределы установки.

1.2 Теоретические основы процесса [2, 3]

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.

В ректификационных установках используют главным образом аппараты двух типов: насадочные и тарельчатые ректификационные колонны.

					<i>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

Насадочные колонны – это колонны, в которых используются насадки различных типов, но в промышленности наиболее распространены колонны с насадкой из колец Рашига. Преимущество таких колонн в том, что они имеют небольшое гидравлическое сопротивление. Недостатком является то, что равномерное распределение жидкости по насадке в колоннах большого диаметра затруднено. В связи с этим диаметр промышленных насадочных ректификационных колонн обычно не превышает 0,8 – 1 м.

Тарельчатые колонны применимы для больших производительностей, широкого диапазона изменений нагрузок по пару и жидкости и могут обеспечить весьма четкое разделение смесей. Недостатком таких аппаратов является относительно высокое гидравлическое сопротивление. Но в условиях ректификации это не имеет существенного значения: повышение гидравлического сопротивления приводит лишь к некоторому увеличению давления и соответственно к повышению температуры кипения жидкости в кипятыльнике колонны.

Материальный баланс ректификационной колонны.

По потокам:

$$G_F = G_D + G_W;$$

По легколетучему компоненту:

$$G_F x_F = G_D x_D + G_W x_W,$$

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 кипятыльнике 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:

$$Q_K + Q_F + Q_{\Phi} = Q_G + Q_W + Q_{\Pi}.$$

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

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

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:

$$N = 1,7 \cdot N_{\min} + 0,7.$$

Внутренний диаметр колонны рассчитываем по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{сек}}{\pi \cdot w'}}$$

где $V_{сек}$ – наибольший секундный объем паров, проходящих через сечение колонны, $\text{м}^3/\text{с}$;

w' – рабочая скорость паров в полном сечении колонны, $\text{м}/\text{с}$.

					<i>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

1.3 Описание объекта разработки и выбор основных конструктивных материалов

В нашем случае имеем достаточно высокую производительность по сырью $G_c = 18000$ кг/ч. Следовательно, на основании теоретического материала, изложенного в п. 1.2, использовать насадочную колонну не рекомендуется. Таким образом, для проведения заданного процесса мы используем тарельчатую ректификационную колонну (рис. 1.2), которая и является объектом нашей разработки.

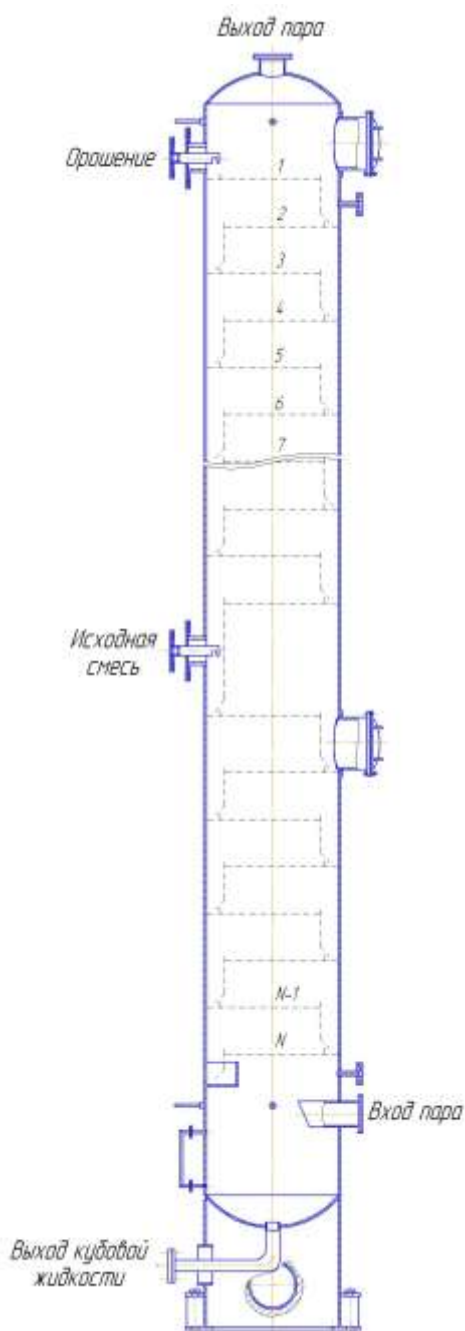


Рисунок 1.1 – Схема устройства тарельчатой ректификационной колонны

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

По конструкции это вертикальный цилиндрический корпус с приварным дном и крышкой. Внутри корпуса горизонтально установлены контактные устройства в виде колпачковых тарелок. С помощью тарелок создается направленное движение фаз и многократное взаимодействие жидкости и пара. Принцип действия колпачковых тарелок состоит в том, что выходящие через прорезы колпачка пузырьки пара сливаются в струйки, которые проходят через слой жидкости, находящейся на тарелке, и над жидкостью образуется слой пены и брызг, – основная область массообмена и теплообмена между паром и жидкостью на тарелке.

Дебутанизатор — вертикальный аппарат, работающий под давлением в несколько десятых МПа. Он состоит из двух частей: верхней – укрепляющей (концентрационной) части и нижней – исчерпывающей (отгонной) части. Этот аппарат делит питание на: пропан-бутан (верхний продукт) и стабильный бензин (C_{5+}), содержащий пентаны и более тяжелые углеводороды (нижний продукт). Небольшое количество пентана будет присутствовать в верхнем продукте, в свою очередь, небольшое количество бутана будет присутствовать в нижнем продукте.

Пар для нижней части дебутанизатора образуется в испарителе. Тепло, необходимое для образования пара для дебутанизатора, обеспечивается использованием горячего масла. Горячий пар из испарителя, возвращается в дебутанизатор, под нижнюю тарелку.

Для того, чтобы сохранить высокое извлечение пентанов в стабильном бензине, необходимо осуществить орошение в верхней части дебутанизатора. Орошение сводит к минимуму содержание пентана и тяжелых углеводородов в пропан-бутане, выходящем из верхней части дебутанизатора. Жидкость, необходимая для орошения, обеспечивается посредством воздушного холодильника, который охлаждает и конденсирует горячий газ из верхней части дебутанизатора.

Следовательно, дебутанизатор представляет собой тепломассообменный аппарат, в котором по высоте колонны снизу вверх на тарелках понижается температура кипения жидкости от максимальной внизу отгонной части до минимальной на верхней тарелке укрепляющей части колонны. Внизу колонны температура практически равна температуре кипения высококипящего компонента при соот-

					<i>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

ветствующем давлении в колонне, на верхней тарелке колонны температура практически равна температуре кипения низкокипящего компонента.

На колонне предусмотрены штуцера для обвязки аппарата технологическими трубопроводами и подключения к технологической линии.

К корпусу колонны снизу приварена опорная часть, которая снабжена лапами для крепления к фундаменту.

Материалы для изготовления химических аппаратов и машин 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 [4].

При выборе материала для изготовления аппарата или машины необходимо учитывать следующее [5]:

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

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 основным способом выполнения неразъемных соединений является сварка. Главным же требованием для материалов химических аппаратов в большинстве случаев является их коррозионная стойкость, так как она определяет долговечность химического оборудования [6].

Выбор конструкционного материала выполняем так, чтобы при низкой стоимости и недефицитности материала обеспечить эффективную технологию изготовления элемента (изделия) [5, 6]. Учитывая все перечисленные параметры, для изготовления основных деталей и узлов выбираем сталь 16ГС.

					<i>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

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 [6].

Для изготовления опоры аппарата выбираем 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. Для изготовления различного рода улучшаемых деталей используем конструкционную легированную сталь 35Х [5, 6].

В качестве листового прокладочного материала используем паронит, который изготавливается прессованием асбокаучуковой массы, состоящей из асбеста, каучука и порошковых ингредиентов. Применяется для уплотнения соединений, работающих при давлении 5 МН/м^2 и температурах до 450°C . В случае нефти и нефтяных продуктов – при температурах $200-400^{\circ}\text{C}$ и давлениях до 7 МН/м^2 [4].

					<i>ПОХНП.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

2 Технологические расчеты процесса и аппарата

2.1 Технологические расчеты

При составлении материального баланса и дальнейших технологических расчетов используем методики, которые описаны в [7, 8].

Материальный баланс бутановой ректификационной колонны, соответствующий условиям разделения, приведен в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Материальный баланс бутановой ректификационной колонны

Компонент	M_i , кг/кмоль	Данные по сырью				
		Концентрация x_{fi} , масс. доли	Расход		Концентрация $X_{fi} = \frac{G_{fi}}{G_f}$, мольн. доли	$M_i \cdot X_{fi}$
			$g_{fi} = g_f \cdot x_{fi}$, кг/час	$G_{fi} = \frac{g_{fi}}{M_i}$, кмоль/час		
C_3H_8	44	0,006	108	2,45	0,0086	0,378
<i>i</i> - C_4H_{10}	58	0,171	3078	53,07	0,1854	10,73
<i>n</i> - C_4H_{10}	58	0,415	7470	128,79	0,4498	26,09
C_5H_{12+}	72	0,408	7344	102	0,3563	25,65
Σ	-	1,0	18000	286,31	1,0001 \approx 1,0	$M_f=62,85$
Данные по дистилляту						
Компонент	Степень извлечения φ_{di} , масс.доли	Расход		Концентрация		$M_i \cdot X_{di}$
		$g_{di} = g_{fi} \cdot \varphi_{di}$, кг/час	$G_{di} = \frac{g_{di}}{M_i}$, кмоль/час	$x_{di} = \frac{g_{di}}{g_d}$, масс. доли	$X_{di} = \frac{G_{di}}{G_d}$, мольн. доли	
C_3H_8	1,00	108	2,45	0,0102	0,0134	0,590
<i>i</i> - C_4H_{10}	1,00	3078	53,07	0,2909	0,2904	16,84
<i>n</i> - C_4H_{10}	0,98	7320,6	126,2	0,6919	0,6906	40,05
C_5H_{12+}	0,01	73,44	1,02	0,0069	0,0056	0,403
Σ	-	10580,04	182,74	0,9999 \approx 1,0	1,0	$M_d=57,90$
Данные по кубовому остатку						
Компонент	Степень извлечения φ_{wi} , масс.доли	Расход		Концентрация		$M_i \cdot X_{wi}$
		$g_{wi} = g_{fi} \cdot \varphi_{wi}$, кг/час	$G_{wi} = \frac{g_{wi}}{M_i}$, кмоль/час	$x_{wi} = \frac{g_{wi}}{g_w}$, масс. доли	$X_{wi} = \frac{G_{wi}}{G_w}$, мольн. доли	
C_3H_8	0	0	0	0	0	0
<i>i</i> - C_4H_{10}	0	0	0	0	0	0
<i>n</i> - C_4H_{10}	0,02	149,4	2,576	0,02	0,025	1,45
C_5H_{12+}	0,99	7270,56	100,98	0,98	0,975	70,2
Σ	-	7419,96	103,556	1,0	1,0	$M_w=71,65$

Давление в колонне. Принимаем [7], что температура дистиллята в емкости орошения на 15°C превышает начальную температуру охлаждающей воды:

$$t_0 = t_e + 15, \quad (2.1)$$

$$t_0 = 20 + 15 = 35^\circ C.$$

По уравнению изотермы жидкой фазы [7] для дистиллята

$$\sum K_i \cdot X_{d_i} = 1 \quad (2.2)$$

методом подбора определяем давление P_0 в емкости орошения (табл. 2.2).

Таблица 2.2 – Расчет давления в емкости орошения

Компонент	Константа фазового равновесия K_i при $P_0 = 0,38 \text{ МПа}$ и $t_0 = 35^\circ \text{ C}$	Концентрация X_{d_i}	$K_i \cdot X_{d_i}$
C_3H_8	2,8	0,0134	0,038
<i>i</i> - C_4H_{10}	1,25	0,2904	0,363
<i>n</i> - C_4H_{10}	0,85	0,6906	0,587
C_5H_{12+}	0,29	0,0056	0,002
Σ	-	1,0	0,99 \approx 1,0

При этом константы фазового равновесия K_i определяем по номограмме [8] в зависимости от давления P_0 и температуры t_0 .

Давление вверху колонны P_d , учитывая гидравлическое сопротивление между колонной и емкостью орошения, принимаем на 0,04 МПа больше, чем в емкости орошения. Давление внизу колонны P_w за счет сопротивления тарелок принимаем на 0,03 МПа больше, чем вверху [8]. Давление в секции питания P_f принимаем средним между P_d и P_w :

$$P_d = P_0 + 0,04, \quad P_w = P_d + 0,03, \quad P_f = 0,5 \cdot (P_d + P_w), \quad (2.3)$$

$$P_d = 0,38 + 0,04 = 0,42 \text{ МПа}, \quad P_w = 0,42 + 0,03 = 0,45 \text{ МПа}, \quad P_f = 0,5 \cdot (0,42 + 0,45) = 0,435 \text{ МПа}.$$

При этом константы фазового равновесия K_i определяются по номограмме [8] в зависимости от давления P_0 и температуры t_0 .

Температурный режим в колонне. Температура t_d вверху колонны определяется методом последовательного приближения (табл. 2.3) по уравнениям изотермы паровой фазы дистиллята

$$\sum \frac{Y_{d_i}}{K_i} = 1. \quad (2.4)$$

При этом константы фазового равновесия K_i определяются по номограмме [6] в зависимости от давления P_d и температуры t_d .

Таблица 2.3 – Расчет температуры дистиллята бутановой колонны

Компонент	Константа фазового равновесия K_i при $P_d = 0,42 \text{ МПа}$ и $t_d = 41^\circ \text{ C}$	Концентрация $Y_{d_i} = X_{d_i}$	$\frac{Y_{d_i}}{K_i}$
C_3H_8	2,9	0,0134	0,005
<i>i</i> - C_4H_{10}	1,3	0,2904	0,223
<i>n</i> - C_4H_{10}	0,92	0,6906	0,751
C_5H_{12+}	0,32	0,0056	0,02
Σ	-	1,0	0,999 \approx 1,0

Температура t_f в секции питания и температура t_w внизу колонны также определяются методом последовательного приближения (см. табл. 2.4 и 2.5) по уравнениям изотермы жидкой фазы и кубового остатка соответственно:

$$\Sigma K_i \cdot X_{f_i} = 1, \quad \Sigma K_i \cdot X_{w_i} = 1. \quad (2.5)$$

При этом константы фазового равновесия K_i определяются по номограмме [8] в зависимости от давления P_f и температуры t_f .

Таблица 2.4 – Расчет температуры сырья бутановой колонны

Компонент	Константа фазового равновесия K_i при $P_f = 0,435 \text{ МПа}$ и $t_f = 51^\circ \text{ C}$	Концентрация X_{f_i}	$K_i \cdot X_{f_i}$
C_3H_8	3,4	0,0086	0,029
<i>i</i> - C_4H_{10}	1,6	0,1854	0,297
<i>n</i> - C_4H_{10}	1,2	0,4498	0,540
C_5H_{12+}	0,4	0,3563	0,143
Σ	-	1,0001 \approx 1,0	1,009 \approx 1,0

Таблица 2.5 – Расчет температуры кубового остатка бутановой колонны

Компонент	Константа фазового равновесия K_i при $P_w = 0,45 \text{ МПа}$ и $t_w = 90^\circ \text{ C}$	Концентрация X_{w_i}	$K_i \cdot X_{w_i}$
<i>n</i> - C_4H_{10}	2,4	0,025	0,06
C_5H_{12+}	0,96	0,975	0,936
Σ	-	1,0	0,996 \approx 1,0

При этом константы фазового равновесия K_i определяются по номограмме [6] в зависимости от давления P_w и температуры t_w .

Минимальное количество орошения. Минимальное флегмовое число под нижней тарелкой укрепляющей части находится по уравнению Андервуда [7]:

$$R_{\min} + 1 = \sum \frac{\alpha_i \cdot X_{d_i}}{\alpha_i - \theta}, \quad (2.6)$$

где α_i – коэффициент относительной летучести i -го компонента при температуре t_f и давлении P_f ;

θ – корень другого уравнения Андервуда

$$e = \sum \frac{\alpha_i \cdot X_{f_i}}{\alpha_i - \theta}, \quad (2.7)$$

Так как ключевым ТЛК является пентан, то параметр θ находится между двумя соседними коэффициентами относительной летучести $\alpha_3 > \theta > \alpha_4$ и определяется методом подбора (табл. 2.6).

Таблица 2.6 – Расчет параметра θ для бутановой колонны

Компонент	Константа фазового равновесия K_i при $P_f = 0,435 \text{ МПа}$ и $t_f = 51^\circ \text{ C}$	$\alpha_i = \frac{K_i}{K_4}$	Концентрация X_{f_i}	$\alpha_i \cdot X_{f_i}$	$\alpha_i - \theta$, при $\theta = 1,31$	$\frac{\alpha_i \cdot X_{f_i}}{\alpha_i - \theta}$
C_3H_8	3,4	8,5	0,0086	0,073	7,19	0,010
<i>и</i> - C_4H_{10}	1,6	4	0,1854	0,742	2,69	0,276
<i>н</i> - C_4H_{10}	1,2	3	0,4498	1,349	1,69	0,798
C_5H_{12+}	0,4	1	0,3563	0,356	-0,31	-1,148
Σ	-	-	1,0001 \approx 1,0	-	-	-0,006 \approx 0

Минимальное флегмовое число равно:

$$R_{\min} + 1 = \frac{8,5 \cdot 0,0134}{8,5 - 1,31} + \frac{4 \cdot 0,2904}{4 - 1,31} + \frac{3 \cdot 0,6906}{3 - 1,31} + \frac{1 \cdot 0,0056}{1 - 1,31} = 1,66;$$

$$R_{\min} = 0,66.$$

Рабочие флегмовое и паровое числа [7]. Рабочее флегмовое число определяем по уравнению:

$$R = 1,35 \cdot R_{\min} + 0,35, \quad (2.8)$$

$$R = 1,35 \cdot 0,66 + 0,35 = 1,24.$$

Рабочее паровое число:

$$S = \frac{R \cdot G_d + G_f \cdot (1 - e) - G_w}{G_w}, \quad (2.9)$$

$$S = \frac{1,24 \cdot 182,74 + 286,31 \cdot (1 - 0) - 103,556}{103,556} = 3,95.$$

Количество материальных потоков, проходящих секцию питания колонны. Расчет мольных потоков проводится в такой последовательности:

Количество паровой фазы сырья

$$G_{vf} = e \cdot G_f, \quad (2.10)$$

$$G_{vf} = 0 \cdot 286,31 = 0.$$

Количество жидкой фазы сырья

$$G_{jf} = (1 - e) \cdot G_f, \quad (2.11)$$

$$G_{jf} = (1 - 0) \cdot 286,31 = 286,31 \frac{\text{кмоль}}{\text{час}}.$$

Количество орошения, стекающего с нижней укрепляющей тарелки

$$G_R = R \cdot G_d, \quad (2.12)$$

$$G_R = 1,24 \cdot 182,74 = 226,60 \frac{\text{кмоль}}{\text{час}}.$$

Количество жидкости, стекающей на верхнюю отгонную тарелку

$$G_m = G_{jf} + G_R, \quad (2.13)$$

$$G_m = 286,31 + 226,60 = 512,91 \frac{\text{кмоль}}{\text{час}}.$$

Количество паров, поднимающихся с верхней отгонной тарелки

$$G_{v0} = G_m - G_w, \quad (2.14)$$

$$G_{v0} = 512,91 - 103,556 = 409,4 \frac{\text{кмоль}}{\text{час}}.$$

Количество паров, поступающих под нижнюю укрепляющую тарелку

$$G_{vm} = G_{vf} + G_{v0}, \quad (2.15)$$

$$G_{vm} = 0 + 409,4 = 409,4 \frac{\text{кмоль}}{\text{час}}.$$

					<i>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

2.2 Тепловые (энергетические) расчеты [7, 8]

Тепловая нагрузка конденсатора-холодильника и количество холодного орошения колонны. Тепловая нагрузка (в кДж/час) конденсатора-холодильника с достаточной точностью может быть найдена по уравнению [8]:

$$Q_d = G_R \cdot (H_d - h_d) + G_d \cdot (H_d - h_0), \quad (2.16)$$

где H_d – энтальпия паров дистиллята при температуре $t_d = 41^\circ\text{C}$ и давлении $P_d = 0,42\text{МПа}$, кДж/кмоль;

h_d, h_0 – энтальпия конденсата дистиллята при температуре $t_d = 41^\circ\text{C}$ и $t_0 = 35^\circ\text{C}$ соответственно, кДж/кмоль.

Числовые значения энтальпий определяем по графику [7].

Тогда:

$$Q_d = 226,60 \cdot (28350 - 5340) + 182,74 \cdot (28350 - 4920) = 9,5 \cdot 10^6 \frac{\text{кДж}}{\text{час}}.$$

Количество холодного орошения G_0 (в кмоль/час) или g_0 (в кг/час), подаваемого вверх колонны, находим по формулам [8]:

$$G_0 = G_R \cdot \frac{H_d - h_d}{H_d - h_0}, \quad g_0 = G_0 \cdot M_d, \quad (2.17)$$

$$G_0 = 226,60 \cdot \frac{28350 - 5340}{28350 - 4920} = 222,5 \frac{\text{кмоль}}{\text{час}}, \quad g_0 = 222,5 \cdot 57,90 = 12883 \frac{\text{кг}}{\text{час}}.$$

Тепловая нагрузка кипятивильника. Если считать мольный расход паров постоянным по высоте отгонной части колонны, то тепловую нагрузку (в кДж/час) кипятивильника определяем по формуле [8]:

$$Q_w = G_{V0} \cdot (H_w - h_w), \quad (2.18)$$

где H_w – энтальпия кубовых паров при температуре $t_w = 90^\circ\text{C}$ давлении $P_w = 0,45\text{МПа}$, кДж/кмоль;

h_w – энтальпия кубовой жидкости при температуре $t_w = 90^\circ\text{C}$, кДж/кмоль.

Числовые значения энтальпий определяем по графику [7].

Тогда:

$$Q_w = 409,4 \cdot (40820 - 15320) = 10,4 \cdot 10^6 \frac{\text{кДж}}{\text{час}}.$$

					<i>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

2.3 Конструктивные расчеты

Число теоретических тарелок колонны и ее частей. Минимальное число теоретических тарелок в колонне определяется по уравнению Фенске-Андервуда в расчете на то, что легким ключевым компонентом по условиям разделения является нормальный бутан ($n\text{-C}_4\text{H}_{10}$), а тяжелым ключевым – пентан (C_5H_{12+}) [7]:

$$N_{\min} = \frac{\lg\left(\frac{X_{d3}}{X_{d4}} \cdot \frac{X_{w4}}{X_{w3}}\right)}{\lg\left(\frac{K_3}{K_4}\right)}, \quad (2.19)$$

$$N_{\min} = \frac{\lg\left(\frac{0,6906 \cdot 0,975}{0,0056 \cdot 0,025}\right)}{\lg\left(\frac{1,2}{0,4}\right)} = 7,7 \approx 8.$$

Число теоретических тарелок в колонне находим по формуле [7]:

$$N = 1,7 \cdot N_{\min} + 0,7, \quad (2.20)$$

$$N = 1,7 \cdot 8 + 0,7 = 14,3.$$

Принимаем число теоретических тарелок в колонне $N = 15$. Оптимальное соотношение числа теоретических тарелок в верхней N_B и в нижней N_H частях колонны определяется по уравнению [8]:

$$\lg \frac{N_B}{N_H} = 0,206 \cdot \lg \left[\frac{G_w}{G_d} \cdot \left(\frac{X_{f4}}{X_{f3}} \right) \cdot \left(\frac{X_{w3}}{X_{d4}} \right)^2 \right], \quad (2.21)$$

$$\lg \frac{N_B}{N_H} = 0,206 \cdot \lg \left[\frac{103,556}{182,74} \cdot \left(\frac{0,3563}{0,4498} \right) \cdot \left(\frac{0,025}{0,0056} \right)^2 \right] = 0,2,$$

откуда

$$\frac{N_B}{N_H} = 10^{0,2} = 1,58.$$

Так как $N_B + N_H = 15$, то числа теоретических тарелок соответственно равны $N_B = 9$, $N_H = 6$.

Диаметр колонны. Наиболее нагруженным по пару сечением колонны будет сечение под нижней тарелкой – оно и принимается за расчетное.

					<i>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Внутренний диаметр колонны рассчитываем по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{сек}}{\pi \cdot w'}}, \quad (2.22)$$

где $V_{сек}$ – наибольший секундный объем паров, проходящих через сечение колонны, $\text{м}^3/\text{с}$;

w' – рабочая скорость паров в полном сечении колонны, $\text{м}/\text{с}$.

Секундный объем паров в расчетном сечении колонны при температуре $t_w = 90^\circ \text{C}$ и давлении $P_w = 0,45 \text{ МПа}$ определяем по формуле:

$$V_{сек} = \frac{G_{V0} \cdot 22,4 \cdot (t_w + 273) \cdot 0,1}{3600 \cdot 273 \cdot P_w}, \quad (2.23)$$

$$V_{сек} = \frac{409,4 \cdot 22,4 \cdot (90 + 273) \cdot 0,1}{3600 \cdot 273 \cdot 0,45} = 0,75 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Ввиду того, что давление в аппарате невелико, коэффициент сжимаемости газа принят равным 1.

Предельную скорость паров в расчетном сечении находим по формуле:

$$w = C' \cdot \sqrt{\frac{\rho_{жс} - \rho_n}{\rho_n}}, \quad (2.24)$$

где $\rho_{жс}$, ρ_n – плотности жидкости и пара в расчетном сечении, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Плотность жидкости при температуре $t_w = 90^\circ \text{C}$ равна $\rho_{жс} = 550 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Плотность паров:

$$\rho_n = \frac{M_w \cdot 273 \cdot P_w}{22,4 \cdot (t_w + 273) \cdot 0,1}, \quad (2.25)$$

$$\rho_n = \frac{71,65 \cdot 273 \cdot 0,45}{22,4 \cdot (90 + 273) \cdot 0,1} = 10,8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Коэффициент C' определяем по уравнению:

$$C' = f_1 \cdot f_2 \cdot C, \quad (2.26)$$

где $f_1 = 0,65$ и $f_2 = 1$ – принимаемые числовые значения величин;

$C = 0,12$ – величина, определяемая по графику [8] при расстоянии между тарелками

$h_T = 0,5 \text{ м}$.

Тогда:

$$C' = 0,65 \cdot 1 \cdot 0,12 = 0,078.$$

					<i>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Предельная скорость паров равна:

$$w = 0,078 \cdot \sqrt{\frac{550 - 10,8}{10,8}} = 0,55 \frac{м}{с}.$$

Рабочая скорость паров:

$$w' = 0,9 \cdot w, \quad (2.27)$$

$$w' = 0,9 \cdot 0,55 = 0,50 \frac{м}{с}.$$

Диаметр колонны составит:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,75}{3,14 \cdot 0,50}} = 1,38 м.$$

Для сравнения определим диаметр колонны по ее сечению над верхней ук-репляющей тарелкой. Дистиллят имеет молярную массу $M_d = 57,90$ и поэтому принимаем его за бутан [7].

Расчет ведется аналогично изложенному определению диаметра колонны в наиболее нагруженном поперечном сечении колонны:

$$G_0 + G_d = 222,5 + 182,74 = 405,24 \frac{кмоль}{час}.$$

Плотность жидкости (бутан) при температуре $t_d = 41^\circ C$ равна $\rho_{жс} = 545 \frac{кг}{м^3}$.

Плотность паров:

$$\rho_n = \frac{M_d \cdot 273 \cdot P_d}{22,4 \cdot (t_d + 273) \cdot 0,1}, \quad (2.28)$$

$$\rho_n = \frac{57,90 \cdot 273 \cdot 0,42}{22,4 \cdot (41 + 273) \cdot 0,1} = 9,4 \frac{кг}{м^3}.$$

Предельная скорость паров:

$$w = 0,078 \cdot \sqrt{\frac{545 - 9,4}{9,4}} = 0,59 \frac{м}{с}.$$

Рабочая скорость паров:

$$w' = 0,9 \cdot 0,59 = 0,53 \frac{м}{с}.$$

Секундный объем паров:

$$V_{сек} = \frac{405,24 \cdot 22,4 \cdot (41 + 273) \cdot 0,1}{3600 \cdot 273 \cdot 0,42} = 0,69 \frac{м^3}{с}.$$

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

Диаметр колонны равен:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,69}{3,14 \cdot 0,53}} = 1,29 \text{ м}.$$

Согласно нормальному ряду диаметров, принимаем диаметр ректификационной колонны $D = 1,4 \text{ м}$.

Число действительных (рабочих) тарелок в колонне. Для колонны принимаются клапанные тарелки.

Для определения к.п.д. тарелки рассчитываем комплекс $w' \cdot \sqrt{\rho_n}$:

$$w' \cdot \sqrt{\rho_n} = 0,50 \cdot \sqrt{10,8} = 1,6.$$

К.п.д. тарелки определяем по [9]: $\eta_T = 0,8$.

Тогда число рабочих тарелок будет равно:

– в укрепляющей части

$$N_{BP} = \frac{N_B}{\eta_T}, \quad (2.29)$$

$$N_{BP} = \frac{9}{0,8} = 11,25.$$

Принимаем $N_{BP} = 12$;

– в отгонной части

$$N_{HP} = \frac{N_H}{\eta_T}, \quad (2.30)$$

$$N_{HP} = \frac{6}{0,8} = 7,5.$$

Принимаем $N_{HP} = 8$.

Общее число рабочих тарелок в колонне

$$N_P = N_{BP} + N_{HP}, \quad (2.31)$$

$$N_P = 12 + 8 = 20.$$

Высота колонны. На основе практических данных [7], расстояние между верхним днищем колонны и ее верхней укрепляющей тарелкой принимается $h_1 = 0,8 \text{ м}$; высота секции питания $h_3 = 1,2 \text{ м}$; расстояние между нижним днищем и нижней отгонной тарелкой $h_5 = 1,5 \text{ м}$ (для обеспечения трех-четырех минутного запаса кубовой жидкости внизу колонны).

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

Высота укрепляющей части:

$$h_2 = (N_{BP} - 1) \cdot h_T, \quad (2.32)$$

$$h_2 = (12 - 1) \cdot 0,5 = 5,5 \text{ м}.$$

В укрепляющей части будет установлен один люк, в этом месте расстояние между тарелками будет равно 0,6 м. Поэтому $h_2 = 5,6 \text{ м}$.

Высота отгонной части:

$$h_4 = (N_{HP} - 1) \cdot h_T, \quad (2.33)$$

$$h_4 = (8 - 1) \cdot 0,5 = 3,5 \text{ м}.$$

В отгонной части будет установлен один люк, в этом месте расстояние между тарелками будет равно 0,6 м. Поэтому $h_4 = 3,6 \text{ м}$.

Рабочая высота колонны:

$$H_p = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5, \quad (2.34)$$

$$H_p = 0,8 + 5,6 + 1,2 + 3,6 + 1,5 = 12,7 \text{ м}.$$

Диаметры штуцеров. Для всех потоков по входу-выходу продуктов в проектируемом аппарате принимаем стандартный штуцер с приварным фланцем встык и тонкостенным патрубком [10].

Согласно рекомендации [10] принимаем скорость движения жидкости в трубопроводе $w_{ж} = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а скорость движения пара $w_n = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Диаметр штуцера определяем по формуле:

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

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

w – скорость движения жидкости или паров в трубопроводе, $\text{м}/\text{с}$.

Патрубок подачи исходного сырья. Объемный расход определяем по формуле:

$$V = \frac{G_c}{3600 \cdot \rho_{ж}}, \quad (2.36)$$

$$V = \frac{18000}{3600 \cdot 575} = 8,7 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Диаметр штуцера:

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

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{8,7 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 1,5}} = 0,086 \text{ м.}$$

Принимаем штуцер $D_y = 100 \text{ мм}$.

Патрубок выхода кубовой жидкости. Объемный расход определяем по формуле:

$$V = \frac{g_w + g_{v0}}{3600 \cdot \rho_{жс}}, \quad (2.37)$$

$$V = \frac{7419,96 + 29334}{3600 \cdot 550} = 0,019 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Диаметр штуцера:

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{0,019}{0,785 \cdot 1,5}} = 0,127 \text{ м.}$$

Принимаем $D_y = 150 \text{ мм}$.

Патрубок подачи орошения. Объемный расход определяем по формуле:

$$V = \frac{g_0}{3600 \cdot \rho_{жс}}, \quad (2.38)$$

$$V = \frac{12883}{3600 \cdot 545} = 6,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Диаметр штуцера:

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{6,6 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 1,5}} = 0,075 \text{ м.}$$

Принимаем $D_y = 80 \text{ мм}$.

Патрубок выхода паров. Объемный расход определяем по формуле:

$$V = \frac{g_d + g_0}{3600 \cdot \rho_n}, \quad (2.39)$$

$$V = \frac{10580,04 + 12883}{3600 \cdot 9,4} = 0,69 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Диаметр штуцера:

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{0,69}{0,785 \cdot 15}} = 0,242 \text{ м.}$$

Принимаем $D_y = 250 \text{ мм}$.

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

2.4 Гидравлическое сопротивление аппарата

Гидравлический расчет проводим в соответствии с методикой [10].

В нашем случае мы используем клапанную тарелку. Ниже приведены основные характеристики клапанной тарелки диаметром 1400 мм [10]:

- относительное свободное сечение – 11,42 %;
- шаг между рядами клапанов – 50 мм;
- количество клапанов – 140;
- рабочее сечение тарелки – 1,1 м²;
- периметр слива – 1,12 м;
- площадь перелива – 0,22 м².

Определяем гидравлическое сопротивление тарелки, находящейся в отгонной части колонны, как более нагруженной по жидкости.

Гидравлическое сопротивление клапанной тарелки:

$$h > 0,98 \cdot \frac{\Delta P}{g \cdot \rho_{ж}}, \quad (2.40)$$

где ΔP – гидравлическое сопротивление клапанной тарелки, Па.

$$\Delta P = \Delta P_C + \Delta P_\sigma + \Delta P_{ж},$$

где ΔP_C – перепад давления на сухой тарелке, Па;

ΔP_σ – перепад давления, необходимый для преодоления сил поверхностного натяжения жидкости, Па;

$\Delta P_{ж}$ – перепад давления, необходимый для преодоления сопротивления столба жидкости на тарелке, Па.

Перепад давления на сухой тарелке:

$$\Delta P_C = \xi \cdot \frac{w_o^2}{2} \cdot \rho_{п}, \quad (2.41)$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления; для клапанной тарелки принимаем $\xi = 3,0$ [10];

$\rho_{п}$ – плотность пара в рабочих условиях колонны, кг/м³;

w_o – скорость пара в отверстиях под клапанами, м/с.

$$w_o = \frac{V_{сек}}{f_o \cdot N_o}, \quad (2.42)$$

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

где $V_{сек}$ – секундный расход, м³/с;

$N_o = 140$ – число клапанов на тарелке;

f_o – сечение одного отверстия под клапаном, м².

$$f_o = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4}, \quad (2.43)$$

где $d_o = 38$ мм – диаметр отверстия под клапаном [10].

$$f_o = \frac{3,14 \cdot 0,038^2}{4} = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2;$$

$$w_o = \frac{0,75}{1,13 \cdot 10^{-3} \cdot 140} = 4,7 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\Delta P_c = 3,0 \cdot \frac{4,7^2}{2} \cdot 10,8 = 358 \text{ Па}.$$

Перепад давления, необходимый для определения сил поверхностного натяжения жидкости:

$$\Delta P_\sigma = \frac{4 \cdot \sigma}{d_\sigma}, \quad (2.44)$$

где $\sigma = 18,5 \cdot 10^{-3}$ Н/м – поверхностное натяжение жидкости при 90°С;

$d_\sigma = 12$ мм – эквивалентный диаметр щели под клапаном.

$$\Delta P_\sigma = \frac{4 \cdot 18,5 \cdot 10^{-3}}{0,012} = 6,2 \text{ Па}.$$

Перепад давления, необходимый для преодоления сопротивления столба жидкости на тарелке:

$$\Delta P_{ж} = 9,81 \cdot K \cdot h_{сл} + 28 \cdot \sqrt[3]{K \cdot \left(\frac{Q}{L_D}\right)^2}, \quad (2.45)$$

де $K = 0,5$ – коэффициент для клапанных тарелок [10];

$h_{сл} = 40$ мм – высота сливной перегородки [10];

$L_D = 650$ мм – длина линии слива;

Q – часовой объем жидкости, стекающей с нижней отгонной тарелки колонны, м³/ч.

$$Q = \frac{G_R \cdot M_w}{\rho_w}, \quad (2.46)$$

$$Q = \frac{226,60 \cdot 71,65}{550} = 29,5 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}};$$

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

$$\Delta P_{ж} = 9,81 \cdot 0,5 \cdot 0,04 + 28 \cdot \sqrt[3]{0,5 \cdot \left(\frac{29,5}{0,65}\right)^2} = 283 \text{ Па.}$$

Таким образом, гидравлическое сопротивление тарелки, находящейся в отгонной части колонны, составит:

$$\Delta P = 358 + 6,2 + 283 = 647,2 \text{ Па.}$$

Полное гидравлическое сопротивление ректификационной колонны:

$$\Delta P_K = N \cdot \Delta P; \quad (2.47)$$

$$\Delta P_K = 20 \cdot 647,2 = 12944 \text{ Па.}$$

По неравенству (2.40) проверяем правильность выбора расстояния между тарелками:

$$h > 0,98 \cdot \frac{647,2}{9,81 \cdot 550} = 0,12 \text{ м.}$$

Поскольку $h_T = 0,5 \text{ м} > 0,12 \text{ м}$. Следовательно, выбор межтарельчатого расстояния произведен правильно.

2.5 Выбор вспомогательного оборудования

Расчет и выбор насоса для подачи орошения в колонну [11].

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

Диаметр трубопровода определяем по уравнению:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.48)$$

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:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho_{ж}}{\mu}; \quad (2.49)$$

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

т. е. режим течения жидкости турбулентный.

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

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:

$$\frac{1}{e} = 325; 560 \cdot \frac{1}{e} = 182000; 10 \cdot \frac{1}{e} = 3250; \text{Re} > 560 \cdot \frac{1}{e}.$$

Для зоны, автомодельной по отношению к Re:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}; \quad (2.50)$$

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

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° $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$.

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

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

Для нагнетательной линии:

1) вентили прямоочные, 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:

$$h_{п.вс.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_3} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.51)$$

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 также определяем по (2.51):

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

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

Общие потери напора:

$$h_{П} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАГ.}; \quad (2.52)$$

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

Находим напор насоса по уравнению:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_{жс} \cdot g} + H_{Г} + h_{П}, \quad (2.53)$$

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

$H_{Г}$ – 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:

$$N_{П} = \rho_{жс} \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (2.54)$$

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

H – напор насоса.

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

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

$$N = \frac{N_{П}}{\eta_{пер} \cdot \eta_{н}}, \quad (2.55)$$

где $\eta_{н}, \eta_{пер}$ – коэффициенты полезного действия соответственно насоса и передачи от электродвигателя к насосу.

Принимая $\eta_{н} = 0,6$ и $\eta_{пер} = 1$, получим:

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

Выбираем центробежный насос марки ЦНС 38-88 с такими параметрами:

- объемная подача насоса – $38 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- напор насоса – 88 м ;
- мощность, потребляемая насосом – $18,5 \text{ кВт}$;

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

– частота вращения 3000 об/мин.

Расчет и выбор АВО [8].

В аппарате воздушного охлаждения (АВО) происходит процесс полной конденсации паров, поступающих из верхней части колонны.

Тепловая нагрузка аппарата $Q_d = 9500 \text{ МДж/ч} = 2639 \text{ кВт}$.

Максимальная ориентировочная поверхность теплообмена:

$$F_{\max} = \frac{Q_d}{q}, \quad (2.56)$$

где q – теплонапряженность аппарата, Вт/м^2 .

По [8] при конденсации одного или нескольких компонентов смеси при $\Delta T = T_{1К} - T_{2Н} = 308 - 293 = 15 \text{ К}$: $q = 400 - 580 \text{ Вт/м}^2$. Принимаем $q = 550 \text{ Вт/м}^2$.

$$F_{\max} = \frac{2639 \cdot 10^3}{550} = 4800 \text{ м}^2.$$

По [8] выбираем стандартный аппарат типа АВГ так, чтобы табличное значение полной внешней оребренной поверхности аппарата превышало значение

$$F_{\max}, \text{ т. е. } F > F_{\max} : F = 5100 \text{ м}^2 > F_{\max} = 4800 \text{ м}^2.$$

Основные параметры выбранного АВГ [8]:

- полная наружная оребренная поверхность аппарата – 5100 м^2 ;
- длина теплообменных труб – 8 м ;
- число секций – 3 ;
- число труб в секции – 164 ;
- число труб в аппарате – 492 ;
- коэффициент оребрения труб – $14,6$;
- число рядов труб в секции – 8 ;
- число ходов по трубам – 8 ;
- суммарная площадь наиболее узкого межтрубного сечения – $11,02 \text{ м}^2$.

Коэффициент запаса теплообменной поверхности аппарата АВГ:

$$B = \frac{F - F_{\max}}{F} \cdot 100 \% ; \quad (2.57)$$

$$B = \frac{5100 - 4800}{5100} \cdot 100 \% = 5,88 \% .$$

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

3 Расчеты аппарата на прочность и герметичность

3.1 Определение толщины стенки корпуса аппарата [13]

Находим величину нормативного допускаемого напряжения для стали 16ГС при расчетной температуре 90°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.

$$[\sigma]_{II} = \frac{280}{1,1} = 254,5 \text{ МПа}.$$

Далее определяем расчетное давление:

$$P_p = P + P_r, \quad (3.3)$$

где $P = 0,45 \text{ МПа}$ – рабочее давление;

P_r – гидростатическое давление среды.

Гидростатическое давление среды:

$$P_r = g \cdot \rho_{ж} \cdot H_p; \quad (3.4)$$

$$P_r = 9,81 \cdot 550 \cdot 12,8 = 0,07 \text{ МПа};$$

$$P_p = 0,45 + 0,07 = 0,52 \text{ МПа}.$$

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

$$P_{II} = \max \left\{ \frac{1,25 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]}, P_p + 0,3 \right\}, \quad (3.5)$$

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

					<i>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

$$P_H = \max \left\{ \frac{1,25 \cdot 0,52 \cdot 170}{161} = 0,69 \text{ МПа} \right. \\ \left. 0,52 + 0,3 = 0,82 \text{ МПа} \right\} = 0,82 \text{ МПа} .$$

Расчетная толщина цилиндрической обечайки:

$$S_P^H = \max \left\{ \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - P_p} \right. \\ \left. \frac{P_H \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_H - P_H} \right\}, \quad (3.6)$$

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

$$S_P^H = \max \left\{ \frac{0,52 \cdot 1400}{2 \cdot 1 \cdot 161 - 0,52} = 2,26 \text{ мм} \right. \\ \left. \frac{0,82 \cdot 1400}{2 \cdot 1 \cdot 254,4 - 0,82} = 2,26 \text{ мм} \right\} = 2,26 \text{ мм} .$$

Исполнительная толщина цилиндрической обечайки:

$$S_{II} \geq S_P^H + c, \quad (3.7)$$

где c – прибавка к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.8)$$

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:

$$c_1 = P \cdot \tau, \quad (3.9)$$

где $P = 0,12$ мм/год – проницаемость материала;

$\tau = 15$ лет – срок службы аппарата.

В результате получим:

$$c = c_1 = 0,12 \cdot 15 = 1,8 \text{ мм};$$

$$S_{II} = 2,26 + 1,8 = 4,06 \text{ мм} .$$

Принимаем $S_{II} = 5 \text{ мм}$.

					<i>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3.2 Определение толщины стенки днища, крышки [13]

Расчетная толщина эллиптического днища:

$$S_p^{\text{э}} = \max \left\{ \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_p}, \frac{P_{II} \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{II} - 0,5 \cdot P_{II}} \right\}; \quad (3.10)$$

$$S_p^{\text{э}} = \max \left\{ \frac{0,52 \cdot 1400}{2 \cdot 1 \cdot 161 - 0,5 \cdot 0,52} = 2,26 \text{ мм}, \frac{0,82 \cdot 1400}{2 \cdot 1 \cdot 254,4 - 0,5 \cdot 0,82} = 2,26 \text{ мм} \right\} = 2,26 \text{ мм}.$$

Исполнительная толщина эллиптического днища:

$$S_{\text{э}} \geq S_p^{\text{э}} + c; \quad (3.11)$$

$$S_{\text{э}} = 2,26 + 1,8 = 4,06 \text{ мм}.$$

Также принимаем $S_{\text{э}} = 5 \text{ мм}$.

Все остальные прочностные расчеты элементов аппарата выполнены с применением ЭВМ (программа Passat) и представлены в приложении А.

4 Монтаж и ремонт аппарата

4.1 Монтаж аппарата [14, 15]

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

					<i>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		36

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.

Стыкуемые части аппарат подтягивают друг к другу трубоукладчиками или тракторами. Для совпадения стыков по всему периметру к кромкам одной из стыкуемых частей приваривают восемь и более направляющих планок, которые после прихватки стыка короткими сварными швами срезают газокислородной резкой. Подобные направляющие планки используют и при установке одного блока на другой в вертикальном положении (при монтаже блоками). Стыковку производят строго по заводским контрольным рискам, нанесенным на корпусах, которые тщательно совмещают, а также по маркировке на деталях. Отклонения размеров стыкуемых участков должны быть в пределах допустимых норм.

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 ко-

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

лонных аппаратов должны удовлетворять следующим требованиям: отклонение длины не должно превышать 0,3 % от проектной; 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 штуцеров и люков. Для их установки и сварки удобно применять кондукторы и шаблоны.

В процессе укрупненной сборки блоков на монтажной площадке приходится монтировать часть внутренних устройств, а иногда и все внутренние устройства. Для этого внутреннюю поверхность аппарата тщательно очищают от посторонних предметов, окалины. Затем аппарат путем кантовки или вращения вокруг собственной оси устанавливают в положение, обеспечивающее наиболее легкий доступ внутрь через люк и наиболее простое определение базовых сборочных размеров.

Способ монтажа ректификационных тарелок зависит от их конструкции и технологического назначения. Их можно собирать при вертикальном (рабочем) и горизонтальном положении колонны. Второй способ позволяет сократить общую продолжительность монтажных работ, но связан с применением приспособлений большой грузоподъемности для подъема аппарата.

При горизонтальном положении аппарата тарелки устанавливают строго вертикально; их положение проверяют по отвесу, прикладываемому в нескольких точках, и по заранее нанесенным на внутренних стенках аппарата меткам, для чего аппарат приходится поворачивать вокруг оси на 90^0 . Значительно легче обеспечить строгое горизонтальное положение тарелок в уже установленном, выверенном и закрепленном на фундаменте корпусе аппарата. В этом случае достаточной точности добиваются либо с помощью уровня, либо заливая на поверхность тарелки воду.

Технология сборки тарелок зависит от их конструкции. Тарелки одного и того же вида отличаются сливными, приемными и отборными устройствами, что существенно изменяет порядок монтажа. Сборку тарелок начинают с приварки к внутренней стенке корпуса колонны опорных (несущих) элементов и неразъемных деталей (карманов, сливов, дисков, глухих сегментов). Сварку производят в

					<i>ПОХНП.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

строгом соответствии с техническими условиями, учитывая, что при работе колонны трудно определить отдельные дефекты сварки.

Разборные детали тарелок, вносимые внутрь колонны через люк или свободный торец корпуса (при сборке блоками), собирают в установленной последовательности. Особое внимание необходимо уделять сопряжению их между собой и с неподвижными деталями: должны быть строго выдержаны размеры, координирующие взаимное расположение тарелок; между поверхностями сопряжения помещают прокладку из соответствующего материала (чаще всего асбестовую); гайки надежно затягивают и при необходимости принимают меры, предотвращающие их самоотвинчивание.

Порядок монтажа тарелок – снизу вверх; такой порядок обеспечивает больший простор работающим внутри колонны рабочим, позволяет сократить число временных подмостей и производить проверку тарелок на барботаж при последовательном креплении люков также снизу вверх.

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.

					<i>ПОХНП.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

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 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

					<i>ПОХНП.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

часть высоких аппаратов предварительно приподнимать кранами или невысокими мачтами, установленными у места временной строповки. После 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 [14]

Характер износа. 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 процесса, конструктивного ис-

					<i>ПОХНП.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

полнения 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.

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

					<i>ПОХНП.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

тавшиеся 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. Ремонт аппарата начинают с его вскрытия, которое необходимо производить, строго соблюдая следующие правила. Вначале открывают верхний люк, причем перед этим в аппарат в течение некоторого времени подают водяной пар, чтобы избежать возможного подсоса воздуха, в результате которого может образоваться взрывоопасная смесь. Далее последовательно (сверху вниз) открывают остальные люки. Категорически запрещается одновременно открывать верхний и нижний люки. Нельзя также открывать сначала нижний, а затем верхний люк, так как вследствие разности температур происходит сильный приток воздуха в колонну, что может привести к образованию взрывоопасной смеси.

После открывания люков колонна некоторое время проветривается в результате естественной конвекции воздуха. Доступ людей в колонну возможен, если концентрация углеводородов в пробе не 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 непре-

					<i>ПОХНП.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

рывной 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.

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 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.

					<i>ПОХНП.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

5 Охрана труда

Характеристика и воздействие на организм человека, нормирование и защита от ионизирующего излучения.

Ионизирующее излучение – это вид энергии, высвобождаемой атомами в форме электромагнитных волн (гамма- или рентгеновское излучение) или частиц (нейтроны, бета или альфа). Спонтанный распад атомов называется радиоактивностью, а избыток возникающей при этом энергии является формой ионизирующего излучения. Нестабильные элементы, образующиеся при распаде и испускающие ионизирующее излучение, называются радионуклидами.

Все радионуклиды уникальным образом идентифицируются по виду испускаемого ими излучения, энергии излучения и периоду полураспада.

Активность, используемая в качестве показателя количества присутствующего радионуклида, выражается в единицах, называемых беккерелями (Бк): один беккерель – это один акт распада в секунду. Период полураспада – это время, необходимое для того, чтобы активность радионуклида в результате распада уменьшилась наполовину от его первоначальной величины. Период полураспада радиоактивного элемента - это время, в течение которого происходит распад половины его атомов. Оно может находиться в диапазоне от долей секунды до миллионов лет (например, период полураспада йода – 131 составляет 8 дней, а период полураспада углерода –14–5730 лет) [16].

Источниками ИИ могут быть природные и искусственные радиоактивные вещества, различного рода ядерно-технические установки, медицинские препараты, многочисленные контрольно-измерительные устройства (используемые при дефектоскопии металлов, контроле качества сварных соединений). Они используются также в сельском хозяйстве, геологической разведке, при борьбе со статическим электричеством и др. Основными источниками ИИ являются следующие.

Радон-222 – газ, испускающий альфа-частицы. Постоянно образуется в горных породах. Опасен при накоплении в шахтах, подвалах, на 1-м этаже здания. Необходима вентиляция (проветривание).

					<i>ПОХНП.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

Ксенон-133 – газообразные изотопы. Постоянно образуются и распадаются в процессе работы атомного реактора. В качестве защиты используют изоляцию.

Йод-131 – испускает бета-частицы и гамма-излучение. Образуется при работе атомного реактора. Вместе с зеленью усваивается жвачными животными и переходит в молоко. Накапливается в щитовидной железе человека. В качестве защиты применяют "йодную диету", т. е. вводят в рацион человека стабильный йод.

Криптон-85 – тяжелый газ, испускающий бета-частицы и гамма-излучение. Входит в состав отработанных топливных элементов реактора. Выделяется при их хранении. Защита - изолированное помещение.

Стронций-90 – металл, испускающий бета-частицы. Основной продукт деления в радиоактивных отходах. Накапливается в костных тканях человека.

Цезий-137 – металл, испускающий бета-частицы и гамма-излучение. Накапливается в клетках мышечной ткани.

Радий-226 – металл, испускающий гамма-излучение, альфа- и бета-частицы. Защита - укрытия и убежища.

Углерод-14 – испускает бета-частицы. Естественный природный изотоп углерода. Используется при определении возраста археологического материала.

Плутоний-239 – испускает альфа-частицы. Содержится в радиоактивных отходах. Защита - качественное захоронение радиоактивных отходов.

Калий-40 – испускает бета-частицы и гамма-излучение. Содержится и замешается (выводится) во всех растениях и животных.

Альфа-частицы – представляют собой положительно заряженные ядра атомов гелия. Эти частицы испускаются при радиоактивном распаде некоторых элементов с большим атомным номером, в основном это трансурановые элементы с атомными номерами более 92. Альфа-частицы распространяются в средах прямолинейно со скоростью около 20 тыс. км/с, создавая на своем пути ионизацию большой плотности. Альфа-частицы, обладая большой массой, быстро теряют свою энергию и поэтому имеют незначительный пробег: в воздухе – 20–110 мм, в биологических тканях – 30–150 мм, в алюминии – 10–69 мм.

Бета-частицы – это поток электронов или позитронов, обладающий большей проникающей и меньшей ионизирующей способностью, чем альфа-частицы.

					<i>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		46

Они возникают в ядрах атомов при радиоактивном распаде и сразу же излучаются оттуда со скоростью, близкой к скорости света. При средних энергиях пробег бета-частиц в воздухе составляет несколько метров, в воде – 1–2 см, в тканях человека – около 1 см, в металлах – 1 мм.

Рентгеновское излучение – представляет собой электромагнитное излучение высокой частоты и с короткой длиной волны, возникающее при бомбардировке вещества потоком электронов. Важнейшим свойством рентгеновского излучения является его большая проникающая способность. Рентгеновские лучи могут возникать в рентгеновских трубках, электронных микроскопах, мощных генераторах, выпрямительных лампах, электронно-лучевых трубках и др.

Гамма-излучение – относится к электромагнитному излучению и представляет собой поток квантов энергии, распространяющихся со скоростью света. Они обладают более короткими длинами волн, чем рентгеновское излучение. Гамма-излучение свободно проходит через тело человека и другие материалы без заметного ослабления и может создавать вторичное и рассеянное излучение в средах, через которые проходит. Интенсивность облучения гамма-лучами снижается обратно пропорционально квадрату расстояния от точечного источника.

Нейтронное излучение – это поток нейтральных частиц, вылетающих из ядер атомов при некоторых ядерных реакциях, в частности при реакциях деления ядер урана и плутония. Вследствие того что нейтроны не имеют электрического заряда, нейтронное излучение обладает большой проникающей способностью. Нейтронное излучение возникает при работе ускорителей заряженных частиц и реакторов, образующих мощные потоки быстрых и тепловых нейтронов. Отличительной особенностью нейтронного излучения является способность превращать атомы стабильных элементов в их радиоактивные изотопы, что резко повышает опасность нейтронного облучения [17].

В результате облучения – воздействия ионизирующих излучений на объект (организм человека, животного, растения и т. д.) поглощается энергия ионизирующих излучений, которая затрачивается на возбуждение и ионизацию атомов облучаемого вещества. При этом облучение объекта может быть внешним и внутренним.

					<i>ПОХНП.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

Внешнее облучение человека обусловлено воздействием ионизирующих излучений радионуклидов, которые, находясь вне организма, проходят через кожный покров и вызывают поражение внутренних органов и тканей.

Внутреннее облучение человека вызывается попаданием радионуклидов в организме вместе с воздухом, водой, пищей.

Биологическое воздействие каждого вида ионизирующего излучения приводит к изменению первичных физико-химических процессов в молекулах живых клеток объекта и как результат – вызывает нарушение их функционирования.

Радиационная опасность радионуклида – радиационные и гигиенические характеристики, определяющие его опасность для организма человека. Основное поражение человека ионизирующими излучениями радионуклидов вызывается появлением свободных радикалов – это аномальные молекулы, имеющие непарный электрон, который делает их крайне нестабильными.

Основную часть массы тела человека составляет вода (> 75 %). Поэтому процессы поглощения энергий ионизирующих излучений водой клеток ведет к образованию высокоактивных химических радикалов (типа ОН и Н), приводящих к окислению молекул белка. В дальнейшем под действием первичных процессов происходит нарушение биохимических процессов в организме и отдельных его тканях, что ведет к изменению биотоков мозга, поражению клеток костного мозга, изменению состава крови и т. д.

Начинается цепная реакция разрушения клеточных мембран, что ведет к нарушению всех биологических процессов, создаются клетки мутанты (клетки с измененными наследственными признаками). Свободные радикалы способны обратимо и необратимо разрушать вещества всех биологических классов. На базе этого возникают и появляются онкологические заболевания, нарушения нейроэндокринной регуляции и другие заболевания, ведущие к преждевременному старению и смерти.

Биологическое воздействие на организм во многом зависит от вида ионизирующего облучения радионуклидов, характеризующихся длиной свободного пробега и ионизирующей способностью.

Так, альфа-частицы, обладающие большой ионизирующей способностью, но малой длиной свободного пробега, наиболее опасны при внутреннем облучении, а их внешним облучением при воздействии можно пренебречь, так как они задерживаются 39 кожным покровом человека и не достигают чувствительных к облучению клеток организма.

Бета-частицы, проникающая способность которых в биоткани не превышает 1 см, опасны как при внутреннем, так и при внешнем облучении.

Большая длина свободного пробега и малая ионизационная способность гамма-излучений по сравнению с альфа- и бета-излучениями определяет их доминирующее воздействие при внешнем облучении организма человека. Глубоко проникая в ткань, гаммалучи достигают кровообразующих и других внутренних органов и разрушают их [18].

Эпидемиологические исследования в группах населения, подвергшихся облучению, например людей, выживших после взрыва атомной бомбы, или пациентов радиотерапии, показали значительное увеличение вероятности рака при дозах выше 100 мЗв. В ряде случаев более поздние эпидемиологические исследования на людях, которые подвергались воздействию в детском возрасте в медицинских целях (КТ в детском возрасте), позволяют сделать вывод о том, что вероятность рака может повышаться даже при более низких дозах (в диапазоне 50-100 мЗв).

Дородовое воздействие ионизирующего излучения может вызвать повреждение мозга плода при сильной дозе, превышающей 100 мЗв между 8 и 15 неделями беременности и 200 мЗв между 16 и 25 неделями беременности. Исследования на людях показали, что до 8 недели или после 25 недели беременности связанный с облучением риск для развития мозга плода отсутствует. Эпидемиологические исследования свидетельствуют о том, что риск развития рака у плода после воздействия облучения аналогичен риску после воздействия облучения в раннем детском возрасте [16].

Допустимые уровни ионизирующего излучения регламентируются «Нормами радиационной безопасности Украины НРБУ-97» и законом Украины «Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань» от 14.01.1998 г. № 15/98 ВР.

					<i>ПОХНП.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

НРБУ-97 распространяются на ситуации облучения людей в условиях:

- нормальной эксплуатации промышленных источников ионизирующих излучений;
- медицинской практике;
- радиоактивных авариях;
- облучениях техногенно-усиленными источниками природного происхождения.

Согласно этим нормативным документам облучаемые лица подразделяются на следующие категории:

- категория А – персонал (лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующих излучений);
- категория Б – ограниченная часть населения (лица, которые не работают непосредственно с источниками излучений, но по условиям проживания или размещения рабочих мест могут подвергаться воздействию радиоактивных веществ, применяемых в учреждениях или удаляемых во внешнюю среду с отходами);
- категория В – все население.

НРБУ-97 включает такие регламентированные величины: лимит дозы, допускаемые уровни, контрольные уровни, рекомендованные уровни и т.п. Наиболее важной величиной при нормировании является лимит эффективной дозы облучения за год (мЗв/год). Также установлен лимит годовой эквивалентной дозы внешнего облучения отдельных органов и тканей (табл. 5.1).

Таблица 5.1 – Лимиты дозы облучения (мЗв/год)

Органы и ткани человека	Категория людей, получающих облучения		
	А	Б	В
ЛДЕ (лимит эффективной дозы)	20*	2	1
Лимит эквивалентной дозы внешнего облучения:			
ЛД lens (для хрусталика глаза)	150	15	15
ЛД skin (для кожного покрова)	500	50	50
ЛД extreme (для кистей и стоп)	500	50	–

*в среднем за любые 5 лет, но не более 50 мЗв за отдельный год.

При проведении профилактических обследований годовая доза не должна превышать 1 мЗв.

Для строительных материалов активность радиоактивных излучений не должна превышать 370 Бк/кг. В помещениях, в которых постоянно находятся люди, мощность экспозиционной дозы не должна превышать 30 мкР/год [19].

Основные принципы радиационной безопасности реализуются путем уменьшения мощности источников излучения до минимальных величин (защита количеством); ограничения поступления радионуклидов в окружающую среду; сокращения времени работы с источниками (защита временем); увеличения расстояния от источника до работающих (защита расстоянием); экранирования источников излучения материалами, поглощающими ионизирующее излучение (защита экранами); проведением комплекса организационно-технических и лечебно-профилактических мероприятий.

Защита от ионизирующих излучений достигается в основном методами защиты расстоянием, экранирования и ограничения поступления радионуклидов в окружающую среду, проведением комплекса организационно-технических и лечебно-профилактических мероприятий.

Наиболее простые способы уменьшения вреда от воздействия радиации состоят либо в уменьшении времени облучения, либо в уменьшении мощности источника, либо же в удалении от него на расстояние R , обеспечивающее безопасный уровень облучения (до предела или ниже эффективной дозы). Интенсивность излучения в воздухе при удалении от источника даже без учета поглощения уменьшается по закону $1/R^2$.

Основными мероприятиями по защите населения от ионизирующих излучений является всемерное ограничение поступления в окружающую атмосферу, воду, почву отходов производства, содержащих радионуклиды, а также зонирование территорий вне промышленного предприятия. В случае необходимости создают санитарно-защитную зону и зону наблюдения.

Санитарно-защитная зона – территория вокруг источника ионизирующего излучения, на которой уровень облучения людей в условиях нормальной эксплуа-

тации данного источника может превысить установленный предел дозы облучения населения.

Зона наблюдения – территория за пределами санитарно-защитной зоны, на которой возможное влияние радиоактивных выбросов учреждения и облучение проживающего населения может достигать установленного ПД и на которой проводится радиационный контроль. На территории зоны наблюдения, размеры которой, как правило, в 3–4 раза больше размеров санитарно-защитной зоны, проводится радиационный контроль.

Если же перечисленные приемы по каким-либо причинам неосуществимы или недостаточны, то следует применять материалы, эффективно ослабляющие излучение.

Защитные экраны следует выбирать в зависимости от вида ионизирующего излучения. Для защиты от α -излучения применяют экраны из стекла, плексигласа толщиной в несколько миллиметров (слой воздуха в несколько сантиметров).

В случае β -излучения используют материалы с малой атомной массой (например, алюминий), а чаще комбинированные (со стороны источника - материал с малой, а затем далее от источника - материал с большей атомной массой).

Для γ -квантов и нейтронов, проникающая способность которых значительно выше, необходима более массивная защита. Для защиты от γ -излучений применяют материалы с большой атомной массой и высокой плотностью (свинец, вольфрам), а также более дешевые материалы и сплавы (сталь, чугун). Стационарные экраны выполняют из бетона.

Для защиты от нейтронного облучения применяют бериллий, графит и материалы, содержащие водород (парафин, вода). Широко применяют бор и его соединения для защиты от нейтронных потоков с малой энергией [20].

Список литературы

1. 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.
2. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – Москва : Химия, 1971. – 784 с.
3. Врагов А. П. Масообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв : Навчальний посібник. – Суми : Сумський державний університет, 2007. – 256 с.
4. Лашинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
5. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лашинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
6. 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.
7. Кузнецов А. А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А. А. Кузнецов, С. М. Кагерманов, Е. Н. Судаков. – Л. : Химия, 1974 – 344 с.
8. Эмирджанов Р. Т. Основы технологических расчетов в нефтепереработке и нефтехимии / Р. Т. Эмирджанов, Р. А. Лемберанский . – М. : Химия, 1989. – 192 с.
9. Скобло А. И. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. – 2-е изд., перераб. и доп. / А. И. Скобло, И. А. Трегубова, Ю. К. Молоканов. – Москва : Химия, 1982. – 584 с.
10. Машины и аппараты химических производств : Примеры и задачи. Учеб. пособие для студентов втузов, обучающихся по специальности «Машины и аппараты химических производств» / И. В. Доманский, В. П. Исаков, Г. М. Островский [и др.]; Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 384 с.

					<i>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		53

11. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Ю. И. Дытнерского. – М. : Химия, 1991.
12. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов / Под ред. чл.-корр. АН СССР П. Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 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. Ионизирующее излучение, последствия для здоровья и защитные меры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>
17. Ионизирующее излучение, характеристики, источники воздействия на организм, нормирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studme.org/1597012213835/bzhd/ioniziruyushee_izluchenie_harakteristiki_istochniki_vozdeystviya_organizm_normirovanie
18. Запрудин В. Ф., Беликов А. С., Пилипенко А. В. [и др.]. Радиационная безопасность зданий с учетом инновационных направлений в строительстве / Под ред. доктора техн. наук, профессора А. С. Беликова. – Д. : Баланс-Клуб, 2009. – 352 с.
19. Нормирование ионизирующих излучений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/7017343/page:4/>
20. Защита от ионизирующих излучений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studme.org/10440708/ekologiya/zaschita_ioniziruyuschih_izlucheniy