

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: Ректифікаційна установка для розділення суміші ацетон – бензол. Розробити ректифікаційну колону з ковпачковими тарілками

Виконав:
студент групи ХМ – 61/2 НГін.

Гуйзгелдієв Нигман

підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, асистент

Литвиненко А.В.

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 Гуйзгелдієв Нигман

1 Тема проекту: Ректифікаційна установка для розділення суміші ацетон – бензол. Розробити ректифікаційну колону з ковпачковими тарілками

2 Вихідні дані: Розробити ректифікаційну колону з ковпачковими тарілками для розділення суміші ацетон – бензол продуктивністю 7800 кг/год. Вміст ЛЛК (% мол.): у початковій суміші – 27; у дистиляті – 91; у кубовому залишку – 2,8. Тиск у колоні – атмосферний.

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

1. Технологічна схема ректифікаційної установки – 0,5 арк.
2. Складальний кресленик ректифікаційної колони – 1,0 арк.
3. Складальні кресленики кришки і ковпачкової тарілки – 1,5 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. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – М. : Химия, 1972. – 494 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

асист. Литвиненко А.В.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 63 с., 7 рис., 3 табл., 2 приложения, 19 источников.

Графические материалы: технологическая схема ректификационной установки, сборочный чертеж тарельчатой ректификационной колонны, сборочный чертеж колпачковой тарелки, сборочный чертеж крышки аппарата – всего 4 листа графической части (3×формат А1).

Тема квалификационного проекта: «Ректификационная установка для разделения смеси ацетон – бензол. Разработать ректификационную колонну с колпачковыми тарелками».

В работе приведены теоретические основы и особенности процесса ректификации, обоснован выбор конструктивных материалов для изготовления основных деталей и узлов проектируемого аппарата, выполнены технологические и проектные расчеты, рассчитано гидравлическое сопротивление колпачковой тарелки и в целом 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» рассмотрены метеорологические условия в производственных помещениях и нормирование параметров микроклимата.

Ключевые слова: ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА, АЦЕТОН, БЕНЗОЛ, РЕКТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОННА, КОЛПАЧКОВАЯ ТАРЕЛКА, РАСЧЕТ, МИКРОКЛИМАТ.

Содержание

	<i>С.</i>
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	12
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	25
2.5 Выбор вспомогательного оборудования	30
3 Расчеты аппарата на прочность и герметичность	35
3.1 Определение толщины стенки корпуса аппарата	35
3.2 Определение толщины стенки днища, крышки	37
4 Монтаж и ремонт аппарата	39
4.1 Монтаж аппарата	39
4.2 Ремонт аппарата	46
5 Охрана труда. Метеорологические условия в производственных помещениях. Нормирование параметров микроклимата	53
Список литературы	62
Приложение А – Построение равновесной и рабочих линий на диаграмме x – y	
Приложение Б – Спецификации к чертежам	

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
Разраб.		Гуйзгелдиев			Колонна ректификационная Пояснительная записка	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.		Литвиненко					4	63
Реценз.						СумГУ, ХМ-61/2НГ		
Н. Контр.								
Утверд.		Склабинский						

Введение

В современной химической промышленности широкое применение нашли высокоэффективные технологические процессы с использованием агрегатов с большой единичной мощности, средств механизации и автоматизации.

Колонные аппараты являются основным типом массообменного оборудования химических, нефтехимических, пищевых, фармацевтических и других производств. В колонных аппаратах проводятся такие важнейшие массообменные процессы как абсорбция, адсорбция, десорбция, ректификация, экстракция и др.

Главным условием работы массообменных колонных аппаратов является эффективное взаимодействие фаз, которое определяется величиной создаваемой поверхности контакта фаз и гидродинамическими условиями их взаимодействия.

Современные ректификационные аппараты должны обладать высокими разделительной способностью и производительностью, характеризоваться достаточной надежностью и гибкостью в работе, обеспечивать низкие эксплуатационные расходы, иметь небольшую массу и, наконец, быть конструктивно простыми и технологичными в изготовлении. Последние требования не менее важны, чем первые, поскольку они не только определяют капитальные затраты, но и в значительной мере влияют на эксплуатационные расходы, обеспечивают легкость и удобство изготовления аппаратов, их монтажа и демонтажа, ремонта, контроля, испытания, а также безопасную эксплуатацию.

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

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

1 Технологическая часть

1.1 Описание технологической схемы установки

Ацетон – органическое вещество, имеющее формулу $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{CH}_3$, простейший представитель насыщенных кетонов. Это бесцветная подвижная летучая жидкость (при нормальных условиях) с характерным резким запахом. Во всех соотношениях смешивается с водой, диэтиловым эфиром, бензолом, метанолом, этанолом, многими сложными эфирами и т. д. Ацетон хорошо растворяет многие органические вещества, в частности, ацетил- и нитроцеллюлозы, воски, алкалоиды, а также ряд солей. Имеет следующие термодинамические свойства [2]:

- температура вспышки в воздухе -20°C ;*
- температура самовоспламенения на воздухе 465°C ;*
- пределы взрывоопасных концентраций 2,6–12,8 %.*

Бензол – первый представитель гомологического ряда ароматических углеводородов, молекулярная формула C_6H_6 . Бесцветная летучая жидкость с характерным запахом. Впервые был получен Майклом Фарадеем из конденсата пиролиза китового жира в 1825 году. Это бесцветная жидкость со своеобразным запахом. Плотность – $0,88 \text{ г/см}^3$. При температуре $80,1^\circ\text{C}$ кипит, а при $5,5^\circ\text{C}$ замерзает в белую кристаллическую массу. Благодаря своей симметричности бензол является неполярным веществом, поэтому не растворяется в воде, но образует с ней азеотропную смесь (91,17 масс. %) с температурой кипения $69,25 \text{ C}$. С большинством неполярных растворителей смешивается в любых отношениях, сам является хорошим растворителем для многих органических веществ [3].

Схема непрерывно действующей ректификационной установки для разделения двухкомпонентной смеси (ацетон – бензол) представлена на рис. 1.1.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

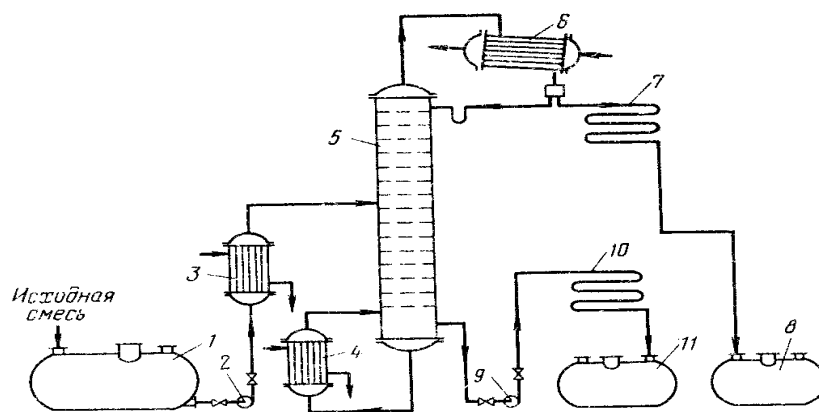


Рисунок 1.1 – Схема ректификационной установки:

1, 8, 11 – емкость; 2 – насос; 3, 10 – теплообменник; 4 – кипятильник;

5 – колонна; 6 – дефлегматор; 7 – холодильник

Исходная двухкомпонентная смесь из промежуточной емкости 1 центробежным насосом 2 подается в теплообменник 3, где подогревается до температуры кипения насыщенным водяным паром. Нагретая смесь поступает на разделение в ректификационную колонну 5 на тарелку питания, где смешивается с флегмой из укрепляющей части колонны.

Стекая вниз по колонне жидкость, взаимодействует с поднимающимся вверх паром, образующимся при кипении кубовой жидкости в кипятильнике 4. В результате этого из жидкости удаляется легколетучий компонент (ацетон). Пар, обогащенный ЛЛК, поднимается вверх по колонне и поступает в дефлегматор 6. Из дефлегматора сконденсировавшийся пар поступает в распределительный стакан, где конденсат разделяется на два потока: один (флегма) возвращается на орошение колонны, второй (дистиллят) поступает в холодильник дистиллята 7 и далее в промежуточную емкость 8. Из кубовой части колонны непрерывно отводится кубовый остаток (бензол) – продукт, обогащенный ТЛК, который охлаждается в теплообменнике 10 и направляется в емкость 11.

1.2 Теоретические основы процесса

Для получения продуктов желаемой степени чистоты с высокими выходами служит процесс ректификации. Теоретические основы процесса ректификации, приведенные в этом разделе, выполнены на основании анализа литературных источников [4–7].

Ректификация – это массообменный процесс разделения однородной смеси летучих компонентов, осуществляемый путем противоточного многократного взаимодействия паров, образующихся при перегонке, с жидкостью, образующейся при конденсации этих паров.

Разделение жидкой смеси основано на различной летучести веществ. При ректификации исходная смесь делится на две части: дистиллят – смесь, обогащенную низкокипящим компонентом (НК), и кубовый остаток – смесь, обогащенную высококипящим компонентом (ВК).

Процесс ректификации осуществляется в ректификационной установке, основным аппаратом которой является ректификационная колонна, в которой пары перегоняемой жидкости поднимаются снизу, а навстречу парам стекает жидкость, подаваемая в виде флегмы в верхнюю часть аппарата.

Процесс ректификации может протекать при атмосферном давлении, а также при давлениях выше и ниже атмосферного.

Степень разделения смеси жидкостей на составляющие компоненты и чистота получаемых дистиллята и кубового остатка зависят от того, насколько развита поверхность контакта фаз, от количества подаваемой на орошение флегмы и устройства ректификационной колонны.

Целью расчета ректификационной колонны является определение температуры процесса и количества отводимой теплоты, выбор скорости пара, насадки (для насадочных колонн) и типа тарелок (для тарельчатых колонн), размеров и гидравлического сопротивления аппаратов [7].

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

При проектировании ректификационных установок, из которых газ отводится в атмосферу, необходимо учитывать вопросы охраны окружающей среды, концентрация поглощаемого компонента в паровой фазе на выходе из колонны не должна превышать предельно-допустимой. Если это не достигается в одном аппарате, то необходимо устанавливать дополнительное оборудование.

В промышленности применяют тарельчатые, насадочные, пленочные трубчатые и центробежные пленочные аппараты. Они различаются в основном конструкцией внутреннего устройства аппарата, назначение которого – обеспечение взаимодействия жидкости и пара.

При расчетах ректификационных колонн количество и состав фаз удобно выражать в молярных величинах. Следовательно, можно считать, что при конденсации из пара n кмоль труднолетучего компонента испаряется из жидкости n кмоль легколетучего компонента, т. е. количество фаз по всей высоте колонны будет постоянным. Примем следующие допущения, мало искажающие фактические условия протекания процесса, но значительно упрощающие расчет:

1) состав пара, выходящего из колонны в дефлегматор (y_D), и состав флегмы, возвращающийся в колонну (x_D), одинаковы, т. е. $y_D = x_D$;

2) состав пара, поднимающегося из кипятильника в колонну (y_W), равен составу жидкости в кубе-испарителе (x_W), т. е. $y_W = x_W$;

Составим материальный баланс ректификационной колонны:

- по потокам: $G_F = G_D + G_W$; (1.1)

- по легколетучему компоненту: $G_F x_F = G_D x_D + G_W x_W$, (1.2)

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

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

Тепловой баланс ректификационной колонны.

Для колонны непрерывного действия с учетом потерь теплоты в окружающую среду имеем:

приход теплоты:

- с греющим паром в кубе испарителя Q_K ;
- с исходной смесью $Q_F = G_F I_F$; (1.3)

расход теплоты:

- с водой от конденсирующихся в дефлегматоре паров Q_D ;
- с дистиллятом $Q_D = G_D I_D$; (1.4)

- с кубовым остатком $Q_W = G_W I_W$; (1.5)

- потери в окружающую среду $Q_{ном}$,

где I_D, I_F, I_W – энтальпия дистиллята, исходной смеси, кубового остатка.

Таким образом, уравнение теплового баланса:

$$Q_K + Q_F = Q_D + Q_D + Q_W + Q_{ном} \quad (1.6)$$

Подставляя вместо Q их значения решим уравнение теплового баланса относительно Q_K :

$$Q_K = G_D(R+1) \cdot r_D + G_D I_D + G_W I_W - G_F I_F + Q_{ном} \quad (1.7)$$

Тарельчатые колонны.

Определение высоты тарельчатой колонны проводится по уравнению:

$$H = H_T + h_1 + h_2, \quad (1.8)$$

где $H_T = (n-1) \cdot h$ – высота тарельчатой части колонны, м;

h_1 – высота сепарационной части колонны, м;

h_2 – расстояние от нижней тарелки до днища, м;

n – число тарелок;

h – расстояние между тарелками, м.

Определение числа тарелок.

При приближенных расчетах применяют теоретически менее обоснованный, но более простой метод определения числа тарелок с помощью, так называемого, среднего к. п. д. тарелок:

$$n = n_T / \eta, \quad (1.9)$$

где n_T – число теоретических тарелок.

Значения η определяют по опытным данным и находятся в пределах 0,3–0,8 [6].

Корпуса колонных аппаратов изготавливают либо из отдельных царг, собираемых на фланцевых соединениях, либо делают цельносварными с люками, через которые обеспечивается доступ внутрь аппарата с целью монтажа, демонтажа, ремонта и ревизии внутренних устройств. Колонные аппараты снабжены крышкой и днищем, патрубками для ввода и вывода паровых и жидкостных потоков. Как правило, снизу к корпусу аппарата приваривают специальную опору, которая позволяет надежно крепить колонну к фундаменту. Для обеспечения эффективной работы колонного аппарата необходимо также предусмотреть надежные распределительные устройства, с помощью которых в аппарат вводятся потоки жидкости и пара, а также устройства для вывода этих потоков из аппарата. Наибольшее распространение в промышленности получили насадочные и тарельчатые колонные аппараты.

При выборе типа ректификационной колонны для проектируемого разделения следует иметь в виду, что тарельчатые колонны очень малого диаметра значительно дороже соответствующих насадочных колонн, однако по мере увеличения диаметра стоимость насадочных колонн растет намного быстрее. В тарельчатых колоннах пар проходит через слой жидкости, находящейся на тарелке. При этом пар дробится на мелкие пузыри и струи, которые с большой скоростью движутся в жидкости [5, 6].

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

1.3 Описание объекта разработки и выбор основных конструктивных материалов

Тарельчатые колонны составляют основную группу массообменных аппаратов. Они представляют собой вертикальный цилиндр (цельносварной или состоящий из нескольких царг, соединенных между собой наглухо или разъемными фланцами), по высоте которого расположены специальные контактные устройства – тарелки, позволяющие создать тесный контакт между паром, поднимающимся вверх по колонне, и жидкостью, стекающей вниз.

В среднюю часть в виде пара, жидкости или парожидкостной смеси подается сырье, которое необходимо разделить на две части – высококипящую и низкокипящую.

Пары и жидкость, поступающие на тарелку, не находятся в состоянии равновесия, однако, вступая в соприкосновение, стремятся к этому состоянию.

Пар на тарелку 1 (рис. 1.2) поступает по патрубкам 2, разбиваясь затем прорезями колпачка 3 на большое число отдельных струй. Прорези колпачков наиболее часто выполняют в виде зубцов треугольной или прямоугольной формы. Далее пар проходит через слой жидкости, протекающей по тарелке от одного сливного устройства 4 к другому. При движении через слой значительная часть мелких струй распадается и газ распределяется в жидкости в виде пузырьков. Интенсивность образования пены и брызг на колпачковых тарелках зависит от скорости движения пара и глубины погружения колпачка в жидкость.

Жидкий поток с вышележащей тарелки поступает в зону более высокой температуры, и поэтому из него испаряется некоторое количество низкокипящего компонента, в результате чего концентрация последнего в жидкости уменьшается.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

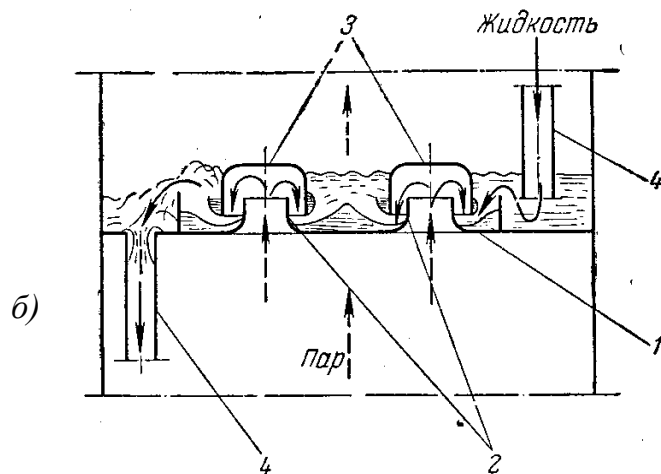
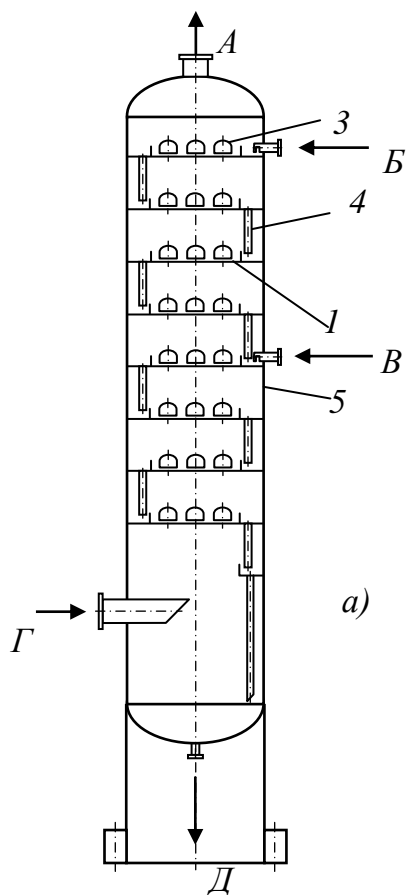


Рисунок 1.2 – Колонна с колпачковыми тарелками

а) схема устройства колонны

б) схема работы тарелки

1 – тарелка; 2 – паровые патрубки; 3 – колпачек; 4 – сливные трубки; 5 – корпус;
 А – выход паров; Б – вход флегмы; В – вход исходной смеси; Г – вход паров; Д – выход кубового остатка

С другой стороны, паровой поток, поступающий с нижележащей тарелки, попадает в зону более низкой температуры и часть высококипящего продукта из этого потока конденсируется, переходя в жидкость. Концентрация высококипящего компонента в парах таким образом понижается, а низкокипящего – повышается.

Часть ректификационной колонны, которая расположена выше ввода сырья, называется концентрационной, а ниже – отгонной [5].

В химической промышленности условия работы аппаратов характеризуются широким диапазоном температур – примерно от минус 250°С до плюс 350°С при давлениях от 0,015 Па до 600 МПа при агрессивном воздействии среды. Основными требованиями, которым должны отвечать химические аппараты, являются механическая надежность, долговечность, конструктивное совершенство, простота изготовления, удобство транспортирования, монтажа и эксплуатации. Поэтому к конструкционным

материалам проектируемой аппаратуры предъявляют следующие требования:

1) высокая коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах при рабочих параметрах процесса;

2) высокая механическая прочность при заданных рабочих давлениях, температуре и дополнительных нагрузках, возникающих при гидравлических испытаниях и эксплуатации аппаратов;

3) хорошая свариваемость материалов с обеспечением высоких механических свойств сварных соединений;

4) низкая стоимость и доступность материалов.

Для изготовления аппаратов в химической промышленности в качестве конструкционных материалов применяют черные металлы и сплавы (стали, чугуны), цветные металлы и сплавы, неметаллические материалы (пластмассы, материалы на основе каучука, керамику, углеграфитовые и силикатные материалы, дерево) [7].

Выполним подбор конструкционных материалов для изготовления основных узлов и деталей аппарата. Подбор будем осуществлять, принимая во внимание рабочую температуру, агрессивность среды, рабочее давление.

Выбираем по таблицам [8, 9] материал деталей колонны, соприкасающимися с разделяемыми жидкостями – сталь 08X18H10T ГОСТ 19282-73; остальных – сталь Ст 3 ГОСТ 380-71; материал опоры – сталь ВСт3сп3 ГОСТ 380-71, материал прокладок – паронит ПОН-1 ГОСТ 481-80.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

2 Технологические расчеты процесса и аппарата

2.1 Технологические расчеты

Технологический расчет процесса проводим согласно методике, изложенной в [10]. Поскольку производительность колонны по исходной смеси задана в кг/час, необходимо перевести мольные доли легколетучего компонента в продуктах в массовые:

$$\bar{x}_f = x_f \cdot \frac{M_{\text{ллк}}}{M_f}; \quad (2.1)$$

$$\bar{x}_D = x_D \cdot \frac{M_{\text{ллк}}}{M_D}; \quad (2.2)$$

$$\bar{x}_W = x_W \cdot \frac{M_{\text{ллк}}}{M_W}; \quad (2.3)$$

$$M_f = M_{\text{ллк}} \cdot x_f + M_{\text{тлк}} \cdot (1 - x_f), \text{ кг/кмоль}, \quad (2.4)$$

$$\text{где } M_f = 58 \cdot 0,27 + 78 \cdot (1 - 0,27) = 73 \text{ кг/кмоль};$$

$$M_D = M_{\text{ллк}} \cdot x_D + M_{\text{тлк}} \cdot (1 - x_D), \text{ кг/кмоль};$$

$$M_D = 58 \cdot 0,91 + 78 \cdot (1 - 0,91) = 60 \text{ кг/кмоль};$$

$$M_W = M_{\text{ллк}} \cdot x_W + M_{\text{тлк}} \cdot (1 - x_W), \text{ кг/кмоль};$$

$$M_W = 58 \cdot 0,028 + 78 \cdot (1 - 0,028) = 77 \text{ кг/кмоль};$$

$M_{\text{ллк}} = 58 \text{ кг/кмоль}$, $M_{\text{тлк}} = 78 \text{ кг/кмоль}$ – мольные массы легколетучего и тяжелолетучего компонентов [11].

$$\bar{x}_f = 0,27 \cdot \frac{58}{73} = 0,21;$$

$$\bar{x}_D = 0,91 \cdot \frac{58}{60} = 0,88;$$

$$\bar{x}_W = 0,028 \cdot \frac{58}{77} = 0,02.$$

Материальный баланс ректификационной колонны составляется по [6]:

– потокам

$$G_f = G_D + G_W; \quad (2.5)$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

– по легколетучему компоненту:

$$G_f \cdot \overline{x_f} = G_D \cdot \overline{x_D} + G_W \cdot \overline{x_W}. \quad (2.6)$$

Совместное решение уравнений (2.5) и (2.6) позволяет получить зависимость для определения массовых расходов дистиллята и кубового остатка:

$$G_D = G_f \cdot \frac{\overline{x_f} - \overline{x_W}}{\overline{x_D} - \overline{x_W}}; \quad (2.7)$$

$$G_W = G_f \cdot \frac{\overline{x_D} - \overline{x_f}}{\overline{x_D} - \overline{x_W}}; \quad (2.8)$$

$$G_D = 7800 \cdot \frac{0,21 - 0,02}{0,88 - 0,02} = 1723 \text{ кг/ч};$$

$$G_W = 7800 \cdot \frac{0,88 - 0,21}{0,88 - 0,02} = 6077 \text{ кг/ч}.$$

Кривую равновесия строим в координатах $y - x$ (рис. 1.3) по справочным данным о равновесных составах жидкости и пара в зависимости от температуры [4].

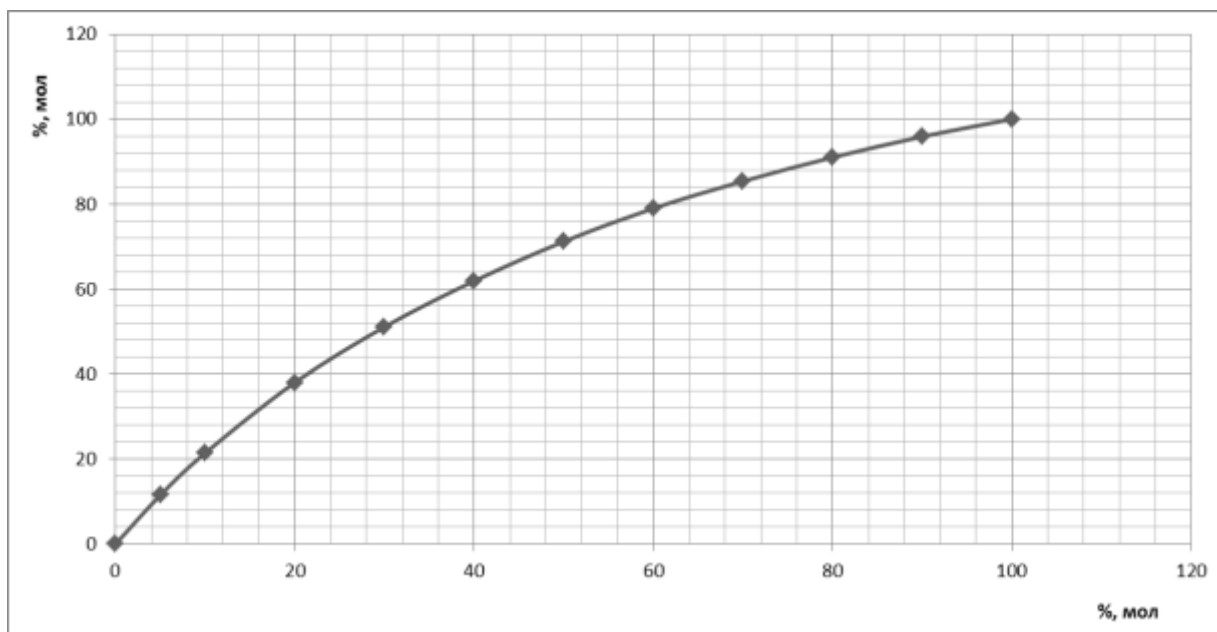


Рисунок 1.3 – Диаграмма $y - x$ для смеси ацетон – бензол

Определяем минимальное флегмовое число по уравнению [10]:

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_f^*}{y_f^* - x_f}, \quad (2.9)$$

где y_f^* – состав пара, находящегося в равновесии с исходной смесью;
 $y_f^* = 0,43$ – определяется из кривой равновесия.

$$R_{\min} = \frac{0,91 - 0,43}{0,43 - 0,27} = 3.$$

Определяем оптимальное флегмовое число R при $\beta = 1,15$ [6]:

$$R = \beta \cdot R_{\min} = 1,15 \cdot 3 = 3,45 \quad (2.10)$$

Значение оптимального флегмового числа решающим образом влияет на размеры ректификационной колонны и позволяет рассчитать массовые расходы стекающей по колонне флегмы и поднимающихся паров [1]:

$$G_R = R \cdot G_D; \quad (2.11)$$

$$G_V = (R + 1) \cdot G_D; \quad (2.12)$$

$$G_R = 3,45 \cdot 1723 = 5944 \text{ кг/ч};$$

$$G_V = (3,45 + 1) \cdot 1723 = 7667 \text{ кг/ч}.$$

Положение рабочих линий определяется уравнениями [6]:

– для верхней части колонны:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.13)$$

– для нижней части колонны:

$$y = \frac{F+R}{R+1} \cdot x - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W, \quad (2.14)$$

где F – число питания, которое определяется по формуле:

$$F = \frac{G_f}{G_d} \cdot \frac{M_d}{M_f}; \quad (2.15)$$

$$F = \frac{7800}{1723} \cdot \frac{60}{73} = 3,72.$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Ордината точки A (приложение A), в которой пересекаются рабочие линии, определяется по уравнениям (2.13) и (2.14) подстановкой в них вместо x значения x_f :

$$y_f' = \frac{3,45}{3,45+1} \cdot 0,27 + \frac{0,91}{3,45+1} = 0,415;$$

$$y_f'' = \frac{3,72+3,45}{3,45+1} \cdot 0,27 - \frac{3,72-1}{3,45+1} \cdot 0,028 = 0,415.$$

Равенство значений $y_f' = y_f''$ свидетельствует об отсутствии ошибок в выполненных расчетах.

Средние мольные концентрации жидкости определяются по среднеарифметическим зависимостям [10]:

– в верхней части колонны:

$$x_{cp}' = \frac{(x_f + x_D)}{2}; \quad (2.16)$$

– в нижней части колонны:

$$x_{cp}'' = \frac{(x_f + x_W)}{2}; \quad (2.17)$$

$$x_{cp}' = \frac{(0,27 + 0,91)}{2} = 0,59;$$

$$x_{cp}'' = \frac{(0,27 + 0,028)}{2} = 0,15.$$

Средние мольные концентрации паровой фазы определяются по уравнениям рабочих линий [6]:

– в верхней части колонны:

$$y_{cp}' = \frac{R}{R+1} \cdot x_{cp}' + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.18)$$

– в нижней части колонны:

$$y_{cp}'' = \frac{F+R}{R+1} \cdot x_{cp}'' - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W; \quad (2.19)$$

$$y_{cp}' = \frac{3,45}{3,45+1} \cdot 0,59 + \frac{0,91}{3,45+1} = 0,66;$$

$$y_{cp}'' = \frac{3,72 + 3,45}{3,45 + 1} \cdot 0,15 - \frac{3,72 - 1}{3,45 + 1} \cdot 0,028 = 0,22.$$

Средние молярные массы паров рассчитываются по зависимостям [11]:

– в верхней части колонны:

$$M_{cp}' = y_{cp}' \cdot M_{ллк} + (1 - y_{cp}') \cdot M_{млк}; \quad (2.20)$$

– в нижней части колонны:

$$M_{cp}'' = y_{cp}'' \cdot M_{ллк} + (1 - y_{cp}'') \cdot M_{млк}; \quad (2.21)$$

$$M_{cp}' = 0,66 \cdot 58 + (1 - 0,66) \cdot 78 = 65 \text{ кг/кмоль};$$

$$M_{cp}'' = 0,22 \cdot 58 + (1 - 0,22) \cdot 78 = 74 \text{ кг/кмоль}.$$

Средние плотности паров определяются по уравнения Клапейрона:

– в верхней части колонны [10]:

$$\rho_y' = \frac{M_{cp}' \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t_y')}; \quad (2.22)$$

– в нижней части колонны:

$$\rho_y'' = \frac{M_{cp}'' \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t_y'')}; \quad (2.23)$$

где $t_y' = 58^\circ\text{C}$ – средняя температура пара в верхней части колонны в зависимости от концентрации y_{cp}' (определяется по диаграмме) [4];

$t_y'' = 78^\circ\text{C}$ – средняя температура пара в нижней части колонны в зависимости от концентрации y_{cp}'' (определяется по диаграмме) [4].

$$\rho_y' = \frac{65 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 58)} = 2,4 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_y'' = \frac{74 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 78)} = 2,6 \text{ кг/м}^3.$$

Средние плотности жидкости находятся по правилу аддитивности:

– в верхней части колонны:

$$\rho_x' = x_{cp}' \cdot \rho_{ллк}' + (1 - x_{cp}') \cdot \rho_{млк}'; \quad (2.24)$$

– в нижней части колонны:

$$\rho_x'' = x_{cp}'' \cdot \rho_{ллк}'' + (1 - x_{cp}'') \cdot \rho_{млк}'' \quad (2.25)$$

где $\rho_{ллк}'$, $\rho_{ллк}''$, $\rho_{млк}'$, $\rho_{млк}''$ - плотности жидкости легколетучего и тяжелолетучего компонентов при температурах t_x' , t_x'' ;

$$\rho_{ллк}' = 812 \text{ кг/м}^3; \rho_{млк}' = 805 \text{ кг/м}^3 \text{ при температуре } t_x' = 58^\circ\text{C} [11];$$

$t_x' = 58^\circ\text{C}$ - средняя температура жидкости в верхней части колонны в зависимости от концентрации x_{cp}' ;

$$\rho_{ллк}'' = 789,4 \text{ кг/м}^3; \rho_{млк}'' = 784,7 \text{ кг/м}^3 \text{ при температуре } t_x'' = 78^\circ\text{C} [11];$$

$t_x'' = 78^\circ\text{C}$ - средняя температура жидкости в нижней части колонны в зависимости от концентрации x_{cp}'' .

$$\rho_x' = 0,59 \cdot 812 + (1 - 0,59) \cdot 805 = 809 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_x'' = 0,15 \cdot 789,4 + (1 - 0,15) \cdot 784,7 = 785 \text{ кг/м}^3.$$

2.2 Тепловые (энергетические) расчеты

Тепловая нагрузка куба – испарителя определяется по формуле:

$$Q_w = G_v \cdot r_w = G_v \cdot (r_{ллк} \cdot \bar{x}_w + r_{млк} (1 - \bar{x}_w)); \quad (2.26)$$

где $r_{ллк} = 387,2 \text{ кДж/кг}$, $r_{млк} = 374 \text{ кДж/кг}$ – удельная теплота испарения легколетучего и тяжелолетучего компонентов при $t = 78^\circ\text{C}$ [11].

$$Q_w = \frac{7667}{3600} \cdot (387,2 \cdot 0,02 + 374 \cdot (1 - 0,02)) = 797 \text{ кВт}.$$

Расход греющего пара в кубе испарителе определяется по формуле:

$$G_{г.п} = Q_w / r_{конд}, \quad (2.27)$$

где $r_{г.п} = 2285 \text{ кДж/кг}$ – удельная теплота испарения греющего пара [11].

$$G_{г.п} = \frac{797}{2285} = 0,35 \text{ кг/с}.$$

Тепловая нагрузка дефлегматора рассчитывается по формуле:

$$Q_D = G_v \cdot r_d = G_v \cdot (r_{ллк} \cdot \bar{x}_D + r_{млк} \cdot (1 - \bar{x}_D)); \quad (2.28)$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

$$Q_D = \frac{7667}{3600} \cdot (387,2 \cdot 0,88 + 374 \cdot (1 - 0,88)) = 821 \text{ кВт.}$$

Расход воды в дефлегматоре определяется по формуле:

$$G_{\text{воды}} = \frac{Q_D}{C_g \cdot (t_{\text{кв}} - t_{\text{нв}})}, \quad (2.29)$$

где $C_g = 4,2 \text{ кДж/кг К}$ – удельная теплоемкость охлаждающей воды [11].

$$G_{\text{воды}} = \frac{821}{4,2 \cdot 20} = 9,8 \text{ кг/с.}$$

2.3 Конструктивные расчеты

Конструктивный расчет проводим согласно методике, изложенной в [12]. Предельную и рабочую скорости паров в верхней и нижней частях колонны находим по формулам:

$$\omega' = (0,75 \div 0,9) \cdot \omega_{\text{пр}}, \quad (2.30)$$

где $\omega_{\text{пр}}$ – скорость газа, соответствующая точке захлебывания.

$$\omega_{\text{пр}} = c \cdot \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}}}, \quad (2.31)$$

где $c = 0,048$ при расстоянии между тарелками $H = 400 \text{ мм}$ – коэффициент, выбираемый в зависимости от конструкции тарелок и расстояния между ними [12].

Предельная скорость паров:

– для верхней части колонны:

$$\omega'_{\text{пр}} = 0,048 \cdot \sqrt{\frac{809 - 2,4}{2,4}} = 0,88 \text{ м/с;}$$

– для нижней части колонны:

$$\omega''_{\text{пр}} = 0,048 \cdot \sqrt{\frac{785 - 2,6}{2,6}} = 0,83 \text{ м/с.}$$

Рабочая скорость паров:

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– для верхней части колонны:

$$\omega' = 0,8 \cdot 0,88 = 0,704 \text{ м/с};$$

– для нижней части колонны:

$$\omega'' = 0,8 \cdot 0,83 = 0,664 \text{ м/с}.$$

Отношение массовых расходов жидкой и паровой фаз равно [10]:

– в верхней части колонны:

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{G_R}{G_V} = \frac{R}{R+1}; \quad (2.32)$$

– в нижней части колонны:

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{G_R + G_f}{G_V} = \frac{R + F}{R + 1}; \quad (2.33)$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{3,45}{3,45 + 1} = 0,775;$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{3,45 + 3,72}{3,45 + 1} = 1,611.$$

Объемный расход паров равен:

– в верхней части колонны:

$$V' = \frac{G_V}{\rho_y'}; \quad (2.34)$$

– в нижней части колонны:

$$V'' = \frac{G_V}{\rho_y''}; \quad (2.35)$$

$$V' = \frac{7667}{3600 \cdot 2,4} = 0,89 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$V'' = \frac{7667}{3600 \cdot 2,6} = 0,82 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Диаметр колонны рассчитывается по формуле [12]:

$$D = \sqrt{\frac{V}{\rho_y \cdot 0,785 \cdot \omega}}; \quad (2.36)$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

– для верхней части колонны:

$$D' = \sqrt{\frac{0,89}{0,785 \cdot 0,704}} = 1,27 \text{ м};$$

– для нижней части колонны:

$$D'' = \sqrt{\frac{0,82}{0,785 \cdot 0,664}} = 1,25 \text{ м}.$$

Из стандартного ряда диаметров принимаем диаметр нашего колонного аппарата $D_k = 1400$ мм.

Определение высоты колонны.

По диаграмме (приложение А) находим число ступеней изменения концентрации. Для этого строится ступенчатая линия, состоящая из горизонтальных и вертикальных отрезков между рабочей и равновесной линиями. Число ступеней соответствует числу теоретических тарелок. В результате построения число теоретических тарелок приблизительно равно:

$$N'_m = 9 \text{ шт.}, N''_m = 7 \text{ шт.}$$

Число действительных тарелок можно определить с помощью, так называемого, среднего КПД тарелки [1]:

$$N_d = N_m / \eta, \quad (2.37)$$

где η – КПД тарелки.

Для определения среднего КПД тарелок находим коэффициент относительной летучести разделяемых компонентов α и динамический коэффициент вязкости исходной смеси μ .

$$\alpha = P_{\text{ллк}} / P_{\text{тлк}},$$

где $P_{\text{ллк}}$, $P_{\text{тлк}}$ – давление насыщенного пара легколетучего и тяжелолетучего компонентов при средней температуре в колонне;

$$P'_{\text{ллк}} = 400 \text{ мм.рт.ст.}; P''_{\text{ллк}} = 600 \text{ мм.рт.ст.};$$

$$P'_{\text{тлк}} = 140 \text{ мм.рт.ст.}; P''_{\text{тлк}} = 200 \text{ мм.рт.ст.}$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

$$\alpha' = 400/140 = 2,86;$$

$$\alpha'' = 600/200 = 3;$$

$$\mu'_x = 0,0003731 \text{ Па с}, \mu''_x = 0,0003378 \text{ Па с};$$

$$\alpha' \cdot \mu'_x = 1,07; \alpha'' \cdot \mu''_x = 1,01.$$

По графику [4] находим $\eta' = 0,48$, $\eta'' = 0,48$.

Число действительных тарелок:

– в верхней части колонны:

$$N_\delta = 9/0,48 = 18,75 \approx 19 \text{ шт.};$$

– в нижней части колонны:

$$N_\delta = 7/0,48 = 14,58 \approx 15 \text{ шт.}$$

Высота тарельчатой части колонны зависит от числа действительных тарелок N_δ и принятого расстояния между ними:

$$H_T = (N_\delta - 1) \cdot H, \quad (2.38)$$

где $N_\delta = 34$ – общее число тарелок;

$H = 400$ мм – расстояние между тарелками.

$$H_T = (34 - 1) \cdot 400 = 13200 \text{ мм}$$

Определение диаметра патрубков.

Диаметр патрубка определяется по формуле [13]:

$$D = \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot 3600 \cdot 0,785 \cdot \omega}}, \quad (2.39)$$

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

Скорость пара принимается в пределах 15–20 м/с, скорость жидкости 0,5–2 м/с [13].

Диаметр патрубка для входа паровой смеси равен:

$$d_{см} = \sqrt{\frac{2,167}{2,4 \cdot 0,785 \cdot 15}} = 0,277 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр патрубка $d_f = 300$ мм.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

Диаметр патрубка для выхода паров с верха колонны:

$$d_v = \sqrt{\frac{2,129}{2,4 \cdot 0,785 \cdot 15}} = 0,275 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр патрубка $d_v=300$ мм.

Диаметр патрубка для входа флегмы:

$$d_R = \sqrt{\frac{1,651}{809 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,072 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр патрубка $d_R=80$ мм.

Диаметр патрубка для входа исходной смеси:

$$d_f = \sqrt{\frac{7800}{785 \cdot 3600 \cdot 0,685 \cdot 0,5}} = 0,089 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр патрубка $d_f=100$ мм.

Диаметр патрубка для выхода кубового остатка:

$$d_w = \sqrt{\frac{1,688}{785 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,074 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр патрубка $d_w=80$ мм.

2.4 Гидравлическое сопротивление аппарата

Гидравлический расчет проводим в соответствии с методикой [13].
Определяем гидравлическое сопротивление тарелки, находящейся в отгонной части колонны, как более нагруженной по жидкости.

Расстояние между тарелками $H_T = 0,4$ м.

Определяем нагрузку по пару G_n и нагрузку по жидкости $G_{жс}$ тарелки:

$$G_n = V_{сек} \cdot \rho_n; \quad (2.40)$$

$$G_n = 0,82 \cdot 2,6 = 2,13 \text{ кг/с};$$

$$G_{жс} = 1,688 \text{ кг/с.}$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

По данным табл. 8.6 [13] выбираем тарелку типа ТСК-Р для колонны диаметром $D=1400\text{мм}$. Эта тарелка имеет следующие параметры: рабочая площадь тарелки $F_p=1,12\text{м}^2$; площадь прохода паров $F_0=0,162\text{м}^2$; площадь слива $F_{сл}=0,198\text{м}^2$; периметр слива $\Pi=1,09\text{м}$; длину пути жидкости по тарелке $l_{жс}=0,933\text{м}$; количество колпачков на тарелке $t=49$; диаметр колпачка $d_k=100\text{мм}$.

В задачу дальнейших гидравлических расчетов основных параметров тарелки входит определение высоты сливного порога $h_{нор}$, подпора жидкости над сливным порогом $h_{сл}$, высоты прорезей колпачка $h_{пр}$ и сопротивления тарелки ΔP .

Величину $h_{сл}$ рассчитываем предварительно без учета уноса жидкости:

$$h_{сл} = 0,68 \cdot \left(\frac{V_{жс}}{\Pi} \right)^{0,67}, \quad (2.41)$$

где $V_{жс} = \frac{G_{жс}}{\rho_{жс}} = \frac{1,688}{785} = 2,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$.

$$h_{сл} = 0,68 \cdot \left(\frac{2,15 \cdot 10^{-3}}{1,09} \right)^{0,67} = 0,01 \text{ м}.$$

Для определения высоты сливного порога рассчитываем высоту прорезей в колпачках по уравнению:

$$h_{пр} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{V_n}{m \cdot z \cdot b} \right)^2 \cdot \frac{\rho_n}{\rho_{жс} - \rho_n}}, \quad (2.42)$$

Примем колпачок с прямоугольными прорезями шириной $b=4\text{мм}$. Количество прорезей в одном колпачке $z=26$. Общее количество колпачков на тарелке $t=49$. При этих данных получим

$$h_{пр} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{0,82}{49 \cdot 26 \cdot 0,004} \right)^2 \cdot \frac{2,6}{785 - 2,6}} = 0,02 \text{ м}.$$

Принимаем по табл. 8.4 [13] высоту прорези $h_{пр} = 20\text{мм}$.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

В этом случае пар будет проходить через полностью открытые прорезы и частично через нижнюю кромку колпачка. Для обеспечения этого примем высоту установки колпачка $h_y = 10 \text{ мм}$.

Глубина барботажа при абсолютном давлении $P_w = 0,1 \text{ МПа}$ составит:

$$h_{z.б.} = \left(\frac{0,7}{\rho_{жс}} \right) \cdot P^{0,35}; \quad (2.43)$$

$$h_{z.б.} = \left(\frac{0,7}{785} \right) \cdot 100000^{0,35} = 0,05 \text{ м}.$$

Находим высоту сливного порога по уравнению:

$$h_{нор} = h_{z.б.} - h_{сл} + h_{нр} + h_y; \quad (2.44)$$

$$h_{нор} = 0,05 - 0,01 + 0,02 + 0,01 = 0,07 \text{ м}.$$

Высота пены, образующейся на тарелке, составит:

$$h_{нн} = \frac{k_2}{\sigma^{0,33}} \cdot (k_3 \cdot w'^2 \cdot \rho_n + k_4 \cdot h_{сл} + h_{нор}), \quad (2.45)$$

где σ – поверхностное натяжение жидкости на границе с паром или газом, Н/м;

Значения входящих в уравнение коэффициентов k_2, k_3, k_4 определяем по табл. 8.3 [13] в зависимости от типа тарелки. Для колпачковой тарелки $k_2 = 0,23$, $k_3 = 4,4 \cdot 10^{-2}$, $k_4 = 4,6$.

$$h_{нн} = \frac{0,23}{0,02^{0,33}} \cdot (4,4 \cdot 10^{-2} \cdot 0,6^2 \cdot 2,6 + 4,6 \cdot 0,01 + 0,07) = 0,13 \text{ м}.$$

Величина относительного уноса жидкости:

$$y = \frac{k_1}{\sigma} \cdot \left(\frac{w'}{H_T - h_{нн}} \right)^{n_1}. \quad (2.46)$$

Значение коэффициента k_1 и показателя степени n_1 также определяем по табл. 8.3 [13] в зависимости от типа тарелки. Для колпачковой тарелки $k_1 = 23 \cdot 10^{-5}$, $n_1 = 1,16$.

$$Y = \frac{23 \cdot 10^{-5}}{0,02} \cdot \left(\frac{0,6}{0,4 - 0,13} \right)^{1,16} = 0,029 < 0,1.$$

Следовательно, расстояние между тарелками выбрано правильно.

Действительную нагрузку сливного устройства по жидкости рассчитываем по уравнению:

$$V_{ж.д.} = V_{жс} + \frac{G_n \cdot Y}{\rho_{жс}}, \quad (2.47)$$

$$V_{ж.д.} = 2,15 \cdot 10^{-3} + \frac{2,13 \cdot 0,029}{785} = 2,23 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Действительная величина подпора жидкости над сливным порогом:

$$h_{сл} = 0,68 \cdot \left(\frac{2,23 \cdot 10^{-3}}{1,09} \right)^{0,67} = 0,01 \text{ м}.$$

Полученная величина не отличается от ранее рассчитанной.

Проверим работоспособность сливного устройства тарелки по условиям:

$$w_{ж.сл} = \frac{V_{ж.д.}}{F_{сл}} < k_5 \cdot H_T^{n_2}; \quad (2.48)$$

$$w_{ж.з.} = \frac{V_{ж.д.}}{П \cdot a} < 0,45. \quad (2.49)$$

Значение коэффициента k_5 и показателя степени n_2 определяем по табл. 8.5 [13] в зависимости от фактора вспениваемости жидкости:
 $k_5 = 0,250$, $n_2 = 0,65$.

Для тарелок типа ТСК-Р зазор под сливным стаканом $a = 0,06 \text{ м}$.

Для этого рассчитаем скорость жидкости в сливном устройстве:

$$w_{ж.сл} = \frac{2,23 \cdot 10^{-3}}{0,198} = 0,011 \text{ м/с}.$$

Далее рассчитываем комплекс:

$$k_5 \cdot H_T^{n_2} = 0,250 \cdot 0,4^{0,65} = 0,138.$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Следовательно, условие (2.48) соблюдается и захлебывания сливного устройства не произойдет.

Скорость жидкости в зазоре между основанием тарелки и нижней кромкой сливного стакана:

$$w_{ж.з.} = \frac{2,23 \cdot 10^{-3}}{1,09 \cdot 0,06} = 0,034 \text{ м/с} < 0,45 \text{ м/с}.$$

Из приведенных расчетов следует, что выбранная однопоточная тарелка обеспечит нормальную работу сливных устройств.

Сопротивление сухой тарелки определяем по уравнению:

$$\Delta P_c = \zeta_c \cdot \rho_n \cdot \frac{w_0^2}{2}, \quad (2.50)$$

где скорость пара в паровых патрубках равна

$$w_0 = \frac{V_n}{F_0}; \quad (2.51)$$

$$w_0 = \frac{0,82}{0,162} = 5,06 \text{ м/с}.$$

Коэффициент сопротивления для колпачка диаметром $D = 100 \text{ мм}$ составит

$$\xi_c = 1,73 \cdot D^{-0,25}; \quad (2.52)$$

$$\xi_c = 1,73 \cdot 0,1^{-0,25} = 3,08.$$

$$\Delta P_c = 3,08 \cdot 2,6 \cdot \frac{5,06^2}{2} = 102,6 \text{ Па}.$$

Величина перепада уровня жидкости на тарелке в соответствии с уравнением:

$$\Delta h = 0,1 \cdot \lambda_3 \cdot \frac{l_{жс} \cdot V_{жс.д.}^2}{\Pi^2 \cdot (h_{нор} + h_{сл})^3 \cdot g}, \quad (2.53)$$

где λ_3 – эквивалентный коэффициент сопротивления перетоку жидкости по тарелке. Для нормализованных тарелок с капсульными колпачками можно принять $\lambda_3 \approx 16 \cdot l_{жс}$.

$$\Delta h = 0,1 \cdot 16 \cdot 0,933 \cdot \frac{0,933 \cdot (2,23 \cdot 10^{-3})^2}{1,09^2 \cdot (0,07 + 0,01)^3 \cdot 9,81} = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Сопротивление слоя жидкости на тарелке рассчитываем по уравнению:

$$\Delta P_{жс} = (h_{з.б.} + \frac{h_{нр} + \Delta h}{2}) \cdot \rho_{жс} \cdot g ; \quad (2.54)$$

$$\Delta P_{жс} = (0,05 + \frac{0,02 + 1,16 \cdot 10^{-3}}{2}) \cdot 785 \cdot 9,81 = 466,5 \text{ Па.}$$

Общее сопротивление тарелки равно:

$$\Delta P_H = \Delta P_c + \Delta P_{жс} ; \quad (2.55)$$

$$\Delta P_H = 102,6 + 466,5 = 569,1 \text{ Па.}$$

Гидравлическое сопротивление всей колонны составит:

$$\Delta P = N_p \cdot \Delta P_H ; \quad (2.56)$$

$$\Delta P = 34 \cdot 569,1 = 19349,4 \text{ Па.}$$

2.5 Выбор вспомогательного оборудования

Расчет и выбор насоса для подачи исходной смеси в колонну [12].

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

Диаметр трубопровода определяем по уравнению:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}} ; \quad (2.57)$$

где V – объемный расход жидкой смеси, которая подается в колонну.

$$d = \sqrt{\frac{2,7 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 2}} = 0,042 \text{ м.}$$

Принимаем $d = 50 \text{ мм}$. Определяем критерий Рейнольдса для жидкости в трубопроводе:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_{жс}}{\mu} ; \quad (2.58)$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot 0,050 \cdot 800}{3,3 \cdot 10^{-4}} = 242420,$$

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

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,050} = 0,004.$$

Далее получим:

$$\frac{1}{e} = 250; \quad 560 \cdot \frac{1}{e} = 140000; \quad 10 \cdot \frac{1}{e} = 2500;$$

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

Для зоны, автомодельной по отношению к Re:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}; \quad (2.59)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,004^{0,25} = 0,0277.$$

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 прямооточные, 2 шт. $\xi_1 = 2 \cdot 0,50 = 1,0$;

2) 3 колена с углом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$;

3) 1 теплообменник подогреватель $\xi_3 = 2,8$;

4) выход из трубы $\xi_4 = 1$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4;$$

$$\Sigma \xi = 1,3 + 3,3 + 2,8 + 1 = 8,4.$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

Потерянный напор во всасывающей линии находим по формуле:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_э} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.60)$$

где l , $d_э$ – соответственно длина и эквивалентный диаметр трубопровода.

$$h_{П.ВС.} = \left(0,0277 \cdot \frac{4}{0,050} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,0 \text{ м.}$$

Потерянный напор в нагнетательной линии также находим по формуле (2.60):

$$h_{П.НАГ.} = \left(0,0277 \cdot \frac{8}{0,050} + 8,4 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 2,6 \text{ м.}$$

Общие потери напора:

$$h_{П} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАГ.}; \quad (2.61)$$

$$h_{П} = 1,0 + 2,6 = 3,6 \text{ м.}$$

Находим напор насоса по уравнению:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_{жс} \cdot g} + H_{Г} + h_{П}, \quad (2.62)$$

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

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

$$H = 0 + 5,5 + 3,6 = 9,1 \text{ м.}$$

Полезную мощность насоса определяем по уравнению:

$$N_{П} = \rho_{жс} \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (2.63)$$

где Q – подача (расход), $Q = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;

H – напор насоса.

$$N_{П} = 800 \cdot 9,81 \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot 9,1 = 193 \text{ Вт.}$$

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

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

$$N = \frac{N_{\Pi}}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{н}}}, \quad (2.64)$$

где $\eta_{\text{н}}$, $\eta_{\text{пер}}$ – коэффициенты полезного действия соответственно насоса и передачи от электродвигателя к насосу. Принимая $\eta_{\text{н}} = 0,6$ и $\eta_{\text{пер}} = 1$ [12], получим

$$N = \frac{193}{1 \cdot 0,6} = 322 \text{ Вт.}$$

По [12] выбираем центробежный насос марки ЦНС 12-20 со следующими параметрами : объемная подача насоса $12 \text{ м}^3/\text{ч}$; напор насоса 20 м ; мощность, потребляемая насосом $1,5 \text{ кВт}$; частота вращения 2400 об/мин .

Расчет и выбор теплообменника-испарителя [13].

Теплообменник-испаритель предназначен для обеспечения ректификационной колонны необходимым для ее работы теплом за счет испарения части кубового остатка. Испаритель обогревается насыщенным водяным паром, температура которого принимается на $10\text{--}20^\circ\text{C}$ выше температуры кипения кубового остатка [13].

Тепловая нагрузка испарителя $Q_w = 797 \text{ кВт}$ (см. п. 2.2).

Расчетная поверхность теплопередачи испарителя:

$$F_p = \frac{Q_w}{K \cdot \Delta t}, \quad (2.65)$$

где K – коэффициент теплопередачи в испарителе; согласно [13] принимаем $K = 900 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

Δt – разность между температурами конденсации греющего водяного пара и кипения (испарения) кубового остатка.

Температура кипения кубового остатка (бензола) при атмосферном давлении составляет $t_{\text{кип}} = 80^\circ\text{C}$. Температуру насыщенного водяного пара принимаем равной $t_{\text{п}} = 100^\circ\text{C}$.

$$\Delta t = 100 - 80 = 20^{\circ} \text{C};$$

$$F_p = \frac{797 \cdot 10^3}{300 \cdot 20} = 132,8 \text{ м}^2.$$

Выбираем стандартный теплообменник-испаритель типа У [13].

Основные данные по аппарату:

– внутренний диаметр кожуха D , мм	1000
– сортамент труб	25×2
– число трубных пучков в испарителе	1
– число труб в одном пучке	190
– поверхность теплообмена, м^2	162
– площадь проходного сечения одного хода по трубам, $\text{м}^2 \cdot 10^3$	32

Определяем коэффициент запаса теплообменной поверхности аппарата:

$$B = \frac{F - F_p}{F} \cdot 100\%; \quad (2.66)$$

$$B = \frac{162 - 132,8}{162} \cdot 100\% = 18\%.$$

3 Расчеты аппарата на прочность и герметичность

3.1 Определение толщины стенки корпуса аппарата [14]

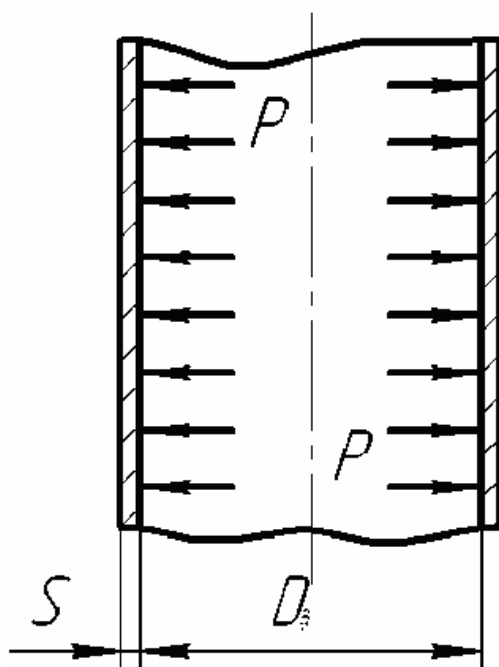


Рисунок 3.1 – Расчетная схема цилиндрической обечайки

Находим величину нормативного допускаемого напряжения для стали 08X18H10T при расчетной температуре 80 °С: $\sigma^* = 161 \text{ МПа}$.

Допускаемое напряжение составит:

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

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

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

Допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях:

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

где $\sigma_T^{20} = 280 \text{ МПа}$ – предел текучести стали 08X18H10T при температуре 20 °С.

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

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:

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

$$P_r = 9,81 \cdot 800 \cdot 13,2 = 0,104 \text{ МПа};$$

$$P_p = 0,1 + 0,104 = 0,204 \text{ МПа}.$$

Так как расчетное давление менее $0,5 \text{ МПа}$, то пробное давление при гидравлических испытаниях определяем по уравнению:

$$P_{II} = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \right. \\ \left. P_p + 0,3 \right\}, \quad (3.5)$$

где $[\sigma]_{20} = \sigma_{20}^* = 170 \text{ МПа}$ – допускаемое напряжение стали $08X18H10T$ при температуре 20°C ($\eta = 1$).

$$P_{II} = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot 0,204 \cdot 170}{161} = 0,323 \right. \\ \left. 0,204 + 0,3 = 0,504 \right\} = 0,504 \text{ МПа}.$$

Расчетная толщина цилиндрической обечайки:

$$S_p^{II} = \max \left\{ \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - P_p}, \right. \\ \left. \frac{P_{II} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_{II} - P_{II}} \right\}, \quad (3.6)$$

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

$$S_P^{\text{ц}} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,204 \cdot 1400}{2 \cdot 1 \cdot 161 - 0,204} = 0,89 \\ \frac{0,504 \cdot 1400}{2 \cdot 1 \cdot 254,4 - 0,504} = 1,39 \end{array} \right\} = 1,39 \text{ мм.}$$

Исполнительная толщина цилиндрической обечайки:

$$S_{\text{ц}} \geq S_P^{\text{ц}} + c, \quad (3.7)$$

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:

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

где $\Pi = 0,12 \text{ мм/год}$ – проницаемость материала;

$\tau = 15 \text{ лет}$ – ресурс работы аппарата.

В результате получим:

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

$$S_{\text{ц}} = 1,39 + 1,8 = 3,19 \text{ мм.}$$

Принимаем с небольшим запасом стандартное значение $S_{\text{ц}} = 5 \text{ мм}$.

3.2 Определение толщины стенки днища, крышки [14]

Расчетная толщина эллиптического днища:

$$S_P^{\text{э}} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_P \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_P} \\ \frac{P_{\text{н}} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_{\text{н}} - 0,5 \cdot P_{\text{н}}} \end{array} \right\}; \quad (3.10)$$

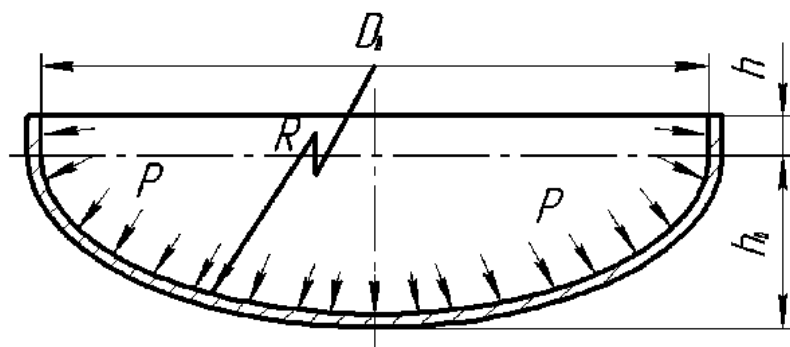


Рисунок 3.2 – Расчетная схема эллиптического днища (крышки)

$$S_p^{\partial} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,204 \cdot 1400}{2 \cdot 1 \cdot 161 - 0,5 \cdot 0,204} = 0,89 \\ \frac{0,504 \cdot 1400}{2 \cdot 1 \cdot 254,4 - 0,5 \cdot 0,504} = 1,39 \end{array} \right\} = 1,39 \text{ мм.}$$

Исполнительная толщина эллиптического днища:

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

$$S_{\partial} = 1,39 + 1,8 = 3,19 \text{ мм.}$$

Точно также, принимаем с небольшим запасом стандартное значение $S_{\partial} = 5 \text{ мм.}$

4 Монтаж и ремонт аппарата

4.1 Монтаж аппарата [15, 16]

Колонные аппараты, как правило, устанавливают на открытой площадке на разных отметках от земли (на фундаментах, железобетонных постаментях, 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.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

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.

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.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

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; 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.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

При горизонтальном положении аппарата тарелки устанавливаются 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° . 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 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.

При регулировании деталей тарелок следует учитывать градиент уровня жидкости на тарелке, значение которого тем выше, чем больше

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

количество флегмы, поступающей на тарелку, и чем больше путь, проходимый флегмой по тарелке. Для этого после регулирования барботажа высоту расположения колпачков несколько изменяют, уменьшая ее в сторону слива.

Технология регулирования барботажа тарелок заключается в следующем. Тарелку заливают водой так, чтобы избыточное количество воды сливалось через сливные устройства. Слив по всему периметру должен быть одинаковым, поэтому предусматривается возможность его регулирования. Толщина слоя воды на всех участках тарелки должна быть также одинаковой. После заполнения гидрозатворов в сливных карманах под проверяемую тарелку компрессором нагнетают воздух. Регулируя колпачки по высоте, добиваются одинаковой степени барботажа пузырьков воздуха через слой воды по всей поверхности тарелки.

Колпачки обычно регулируют по высоте так, чтобы верхний край их прорезей был погружен в жидкость на глубину 20–50 мм, в зависимости от режима работы.

Параллельно с установкой колпачков проводят соответствующую регулировку по высоте сливных устройств. Для создания надежного гидравлического затвора в сливных устройствах сливные перегородки погружают в жидкость в кармане лежащей ниже тарелки на глубину не менее 30 мм.

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 (постаменты). Подъем аппаратов

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

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 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.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

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 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

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

возможность одностороннего нагрева 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 [15]

***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 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.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

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.

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 включения. Участки корпусов, подверженные эрозии, защищают протекторами и специальными устройствами, уменьшающими кинетическую энергию струй жидкости и пара (улиты, маточники 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 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. *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

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

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.

По характеру обнаруженного дефекта устанавливают содержание и способ ремонта корпуса. Неплотные сварные швы вырубают, зачищают и

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

заваривают соответствующим электродом. Весьма важно правильное перекрывание 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.

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.

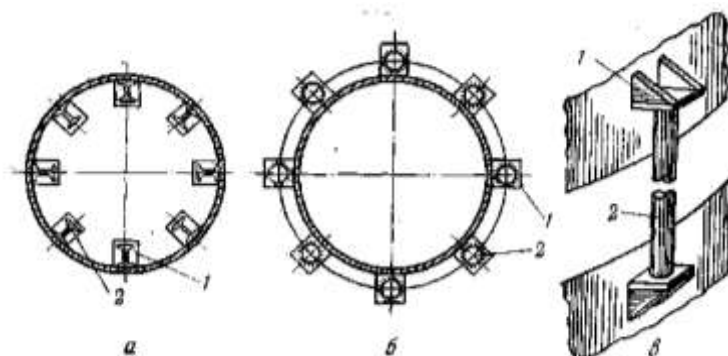


Рисунок 4.1 – Усиление колонны в местах вырезаемых поясов:

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. 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 клеток. Электролебедку с электродвигателем во взрывобезопасном исполнении или пневмолебедку к крану-укосине устанавливают у основания колонны или на площадке, которую обслуживает кран-укосина.

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

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

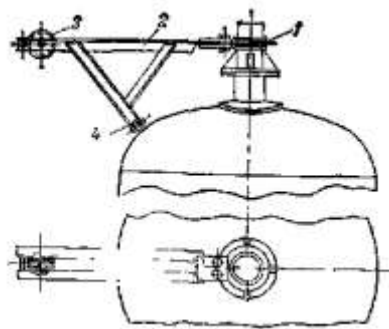


Рисунок 4.2 – Кран-укосина на корпусе аппарата:

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

Довольно трудоемкими являются операции, связанные с разборкой загрязненных тарелок и отбойников. Сначала их освобождают от загрязнений механической чисткой (скребками), затем с помощью цепных талей, подвешиваемых внутри колонны за надежные конструкции (например, опорные балки), отдирают каждый элемент от места посадки. Для этой операции нельзя применять трос с лебедкой: за счет силы упругости троса вырванный элемент сильно отскакивает и может повредить колонну или причинить травму находящимся в колонне рабочим.

5 Охрана труда. Метеорологические условия в производственных помещениях. Нормирование параметров микроклимата

В понятие «метеорологические условия», или «микроклимат», производственных помещений входят те физические факторы производственной среды, которые влияют на тепловое состояние организма и которые необходимо постоянно контролировать. Это температура, влажность, скорость движения воздуха, барометрическое давление и тепловое излучение. От состояния производственной среды зависит самочувствие и здоровье человека [17].

Необходимость учета основных параметров микроклимата может быть объяснена на основании рассмотрения теплового баланса между организмом человека и окружающей средой производственных помещений.

Величина тепловыделения Q организмом человека зависит от степени физического напряжения в определенных метеорологических условиях и составляет от 85 (в состоянии покоя) до 500 Дж/с (тяжелая работа).

Отдача теплоты организмом человека в окружающую среду происходит в результате теплопроводности через одежду Q_m , конвекции у тела Q_k , излучения на окружающие поверхности Q_u , испарения влаги с поверхности кожи $Q_{исп}$. Часть теплоты расходуется на нагрев вдыхаемого воздуха Q_v .

Нормальное тепловое самочувствие (комфортные условия), соответствующее данному виду работы, обеспечивается при соблюдении теплового баланса:

$$Q = Q_m + Q_k + Q_u + Q_{исп} + Q_v, \quad (5.1)$$

поэтому температура внутренних органов человека остается постоянной (36,0–37,0°C). Вместе с изменением параметров микроклимата меняется и тепловое самочувствие человека [18].

Перегрев организма происходит при условиях избыточного конвективного излучения тепла нагретых поверхностей. Различают две фазы

перегрева. Первая – физиологичная, при которой вступают в активную реакцию приспособительные функции организма. При этом активизируется работа сердечнососудистой и дыхательной систем, происходит интенсивное потовыделение, которое достигает 5 л за изменение. С потом теряется большое количество минеральных солей (что приводит к нарушению водноэлектролитного обмена) и витаминов.

Исследованиями установлено, что в конце 5-часового пребывания в зоне с температурой воздуха больше 31°C и влажности 80–90 % работоспособность падает до 62 %. Значительно падает сила в мышцах рук (на 30–40 %), приблизительно в 2 раза ухудшается координация движений рук. Производительность труда падает пропорционально метеорологическим условиям.

Охлаждение организма возможно чаще всего в зимний и переходный периоды года при выполнении работ на открытом воздухе или работ, которые проводятся в неотапливаемых производственных и складских помещениях.

Длительное действие низкой температуры может вызывать разные нежелательные изменения в организме человека. Охлаждение связано со значительным тепловыделением через конечности рук и ног. На охлаждение влияет влажность и скорость движения воздуха. Различают охлаждение общее и местное.

Общее и местное охлаждение организма является причиной разных заболеваний: миозитов, невритов, радикулитов, и тому подобное, а также общих и инфекционных заболеваний. Любая степень охлаждения характеризуется снижением частоты сердцебиения и торможением деятельности коры головного мозга, который существенно влияет на работоспособность человека.

Местное переохлаждение может наступить даже при температуре выше 0°C. Например, при длительном охлаждении ног (в резиновой обуви)

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

водой, температура которой, -8°C , а также в результате потения ног в резиновых сапогах при таких же температурах.

Влажность воздуха существенно влияет на терморегуляцию человеческого организма. Повышение относительной влажности воздуха в производственном помещении (75–85 %) усложняет терморегуляцию, уменьшает тепловыделение организмом. Физиологически оптимальной является относительная влажность в пределах 40–60 %.

За санитарными нормами проектирования промышленных предприятий СН 245-71 и ГОСТ 12.1.005-86, в зависимости от характера выполняемых работ, наиболее благоприятными для человеческого организма является: относительная влажность 60–50 % при температуре $18-22^{\circ}\text{C}$; не больше 55 % при температуре 28°C ; не больше 60 % при температуре 27°C ; не больше 65 % при температуре 26°C ; не больше 70 % при температуре 25°C ; не больше 75 % при температуре 24°C и ниже.

Скорость движения воздуха. Значение движения воздуха для теплового баланса организма человека целесообразно связывать с температурой и влажностью воздуха. Скорость воздуха является важным фактором, который существенно влияет на комфортные условия жизнедеятельности человека. Скорость движения воздуха в зависимости от его температуры может влиять по-разному на человека. При высоких температурах воздуха его движение обеспечивает нормальное самочувствие человека, а при отсутствии движения состояние организма ухудшается, что может вызывать тепловой удар. Человек способен чувствовать движение воздуха при его скорости 0,1 м/с. В зависимости от характера выполняемых работ, температуры, влажности, допускается скорость движения воздуха в пределах 0,3–0,5 м/с и не должна превышать 1,0–1,5 м/с.

Следовательно, температура, влажность и скорость движения воздуха, является факторами, которые комплексно влияют на самочувствие человека. Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха, в

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

рабочей зоне производственных помещений должны отвечать требованиям которые определяются в нормативном документе – Системе стандартов безопасности труда ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования», «Санитарные нормы микроклимата производственных помещений» ДСН 3.3.6.042-99р. и является обязательным для всех производств и для производств в разных географических расположениях [17].

Кроме этих параметров, являющихся основными, не следует забывать об атмосферном давлении, которое влияет на парциальное давление основных компонентов воздуха (кислорода и азота), а, следовательно, и на процесс дыхания.

Жизнедеятельность человека может проходить в довольно широком диапазоне давлений 734–1267 гПа (550–950 мм рт. ст.). Однако здесь необходимо учитывать, что для здоровья человека опасно быстрое изменение давления, а не сама величина этого давления. Например, быстрое снижение давления всего на несколько гектопаскалей, по отношению к нормальной величине 1013 гПа (760 мм рт. ст.), вызывает болезненное ощущение.

В соответствие с ГОСТ 12.1.005 - 88 устанавливаются оптимальные и допустимые метеорологические условия для рабочей зоны помещения, при выборе которых учитываются:

1) время года – холодный и переходный периоды со среднесуточной температурой наружного воздуха ниже $+10^{\circ}\text{C}$; теплый период с температурой $+10^{\circ}\text{C}$ и выше;

2) категория работы – категории работ разграничиваются на основе интенсивности энергозатрат организма в ккал/ч (Вт)(табл. 5.1).

3) характеристика помещения по избыткам явной теплоты: все производственные помещения делятся на помещения с незначительными избытками явной теплоты, приходящимися на 1 м^3 объема помещения, $23,2 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ и менее, и со значительными избытками – более $23,2 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Таблица 5.1 – Классификация работ по тяжести

Легкие физические Работы	Категория Ia, Ib	Работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой, но не требующие систематического физического напряжения. Энергозатраты до 174 Дж/с
Физические работы Средней тяжести	Категория IIa	Работы, связанные с постоянной ходьбой, выполняемые стоя или сидя, но не требующие перемещения тяжести. Энергозатраты 175 – 232 Дж/с
Физические работы средней тяжести	Категория IIб	Работы, связанные с ходьбой и переноской небольших (до 10 кг) тяжестей. Энергозатраты 232 – 290 Дж/с
Тяжелые физические работы	Категория III	Работы, связанные с систематическим физическим напряжением, в частности, с постоянными передвижениями и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей Энергозатраты свыше 290 Дж/с

Явная теплота – теплота, поступающая в рабочее помещение от оборудования, отопительных приборов, нагретых материалов, людей и других источников, в результате инсоляции и воздействующая на температуру воздуха в этом помещении.

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений (ГОСТ 12.1.005-88, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением (в кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и др.). Перечень других рабочих мест и видов работ, при которых должны обеспечиваться оптимальные величины микроклимата определяются Санитарными правилами по отдельным отраслям промышленности и другими документами, согласованными с органами Государственного санитарно-эпидемиологического надзора в установленном порядке [18].

Таблица 5.2 – Оптимальные величины температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений [19]

Период года	Категория работ	Температура воздуха	Относительная влажность	Скорость движения, м / с
<i>Холодный период года</i>	<i>Легкая Ia</i>	22–24	60–40	0,1
	<i>Легкая Ib</i>	21–23	60–40	0,1
	<i>Средней тяжести IIa</i>	19–21	60–40	0,2
	<i>Средней тяжести IIб</i>	17–19	60–40	0,2
	<i>Тяжелая III</i>	16–18	60–40	0,3
<i>Теплый период года</i>	<i>Легкая Ia</i>	23–25	60–40	0,1
	<i>Легкая Ib</i>	22–24	60–40	0,2
	<i>Средней тяжести IIa</i>	21–23	60–40	0,3
	<i>Средней тяжести IIб</i>	20–22	60–40	0,3
	<i>Тяжелая III</i>	18–20	60–40	0,4

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины [18].

Таблица 5.3 – Допустимые величины температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работ	Температура, °С				Относительная влажность (%) на рабочих местах – постоянных и непостоянных	Скорость движения (м/с) на рабочих местах – постоянных и непостоянных
		Верхний предел		Нижний предел			
		На постоянных рабочих местах	На непостоянных рабочих местах	На постоянных рабочих местах	На непостоянных рабочих местах		
Холодный период	Легкая Ia	25	26	21	18	75	не более 0,1
	Легкая Ib	24	25	20	17	75	не более 0,2
	Средней тяжести IIa	23	24	17	15	75	не более 0,3
	Средней тяжести IIб	21	23	15	13	75	не более 0,4
	Тяжелая III	19	20	13	–	75	не более 0,5
Теплый период	Легкая Ia	28	30	22	20	55 – при 28°С	0,2–0,1
	Легкая Ib	28	30	21	19	60 – при 27°С	0,3–0,1
	Средней тяжести IIa	27	29	18	17	65 – при 26°С	0,4–0,2
	Средней тяжести IIб	27	29	15	15	70 – при 25°С	0,5–0,2
	Тяжелая III	26	28	15	13	75 – при 24°С и ниже	0,6–0,5

Перепад температуры воздуха по высоте рабочей зоны при обеспечении допустимых условий микроклимата не должен быть более 3°С для всех категорий работ, а по горизонтали рабочей зоны и в течение рабочей смены – выходить за пределы допустимых температур для данной категории работы, указанных в табл. 5.3.

Температура внутренних поверхностей помещений (стены, пол, потолок), а также температура наружных поверхностей технологического оборудования или его защитных устройств (экранов и т.п.) не должна выходить за пределы допустимых величин температуры воздуха для данной категории работ, указанных в табл. 5.3.

Интенсивность теплового облучения, работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляция от застекленных ограждений не должна превышать 35,0 Вт/м² – при облучении 50 % и более поверхности тела, 70 Вт/м² – при величине облучаемой поверхности от 25 до 50 %, и 100 Вт/м² – при облучении не более 25 % поверхности тела работающего

При наличии источников с интенсивностью 35,0 Вт/м² и более температура воздуха на постоянных рабочих местах не должна превышать верхних границ оптимальных значений для теплого периода года, на непостоянных – верхних границ допустимых значений для постоянных рабочих мест.

При наличии открытых источников излучения (нагретый металл, стекло, открытое пламя) допускается интенсивность облучения до 140,0 Вт/м². Размер облучаемой площади не должна превышать 25 % поверхности тела работающего при обязательном использовании средств индивидуальной защиты (спецодежда, очки, щитки).

В производственных помещениях, расположенных в районах со средней максимальной температурой самого жаркого месяца выше 25°С, согласно СНиП «Строительная климатология», допускаются отклонения от величин

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

показателей микроклимата, указанных в табл. 5.3, для данной категории работ, но не более чем на 3°С. При этом скорость движения воздуха должна быть увеличена на 1,1 м/с, а относительная влажность воздуха понижена на 5 % при повышении температуры на каждый градус выше верхней границы допустимых температур воздуха, указанных в табл. 5.3 [19].

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		61

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. *Ацетон.* *Википедия [Электронный ресурс].* – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ацетон>
3. *Бензол.* *Википедия [Электронный ресурс].* – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бензол>
4. *Иоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / И. Л. Иоффе.* – Л. : Химия, 1991. – 352 с.
5. *Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1972. – 494 с.
6. *Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин.* – М. : Химия, 1973. – 752 с.
7. *Лащинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский.* – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
8. *Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лащинский.* – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
9. *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.
10. *Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему “Розрахунок ректифікаційної установки безперервної дії” проектування насадкової колони з курсу “Основні процеси та апарати хімічної технології” для студентів IV–V курсів усіх спеціальностей і форм навчання / Укл.: Т.П. Єльцова, Т.В. Гриднева, П.В. Рябік.* – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012. – 46 с.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

11. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.

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

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

14. 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.

15. 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.

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

17. Методические указания для самостоятельной работы студентов для подготовки к практическому занятию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.umsa.edu.ua/storage/kf_gigien_ekologii/docs/8qVurxvp0m1912QWzG4owCcszSQuTV5DvC15Cjqd.pdf

18. Правила и нормы метеорологических условий рабочей зоны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://referat.me/safety/11001-pravila-i-normy-meteorologicheskikh-usloviy-rabochey-zony>

19. Санитарные нормы микроклимата производственных помещений ДСН 3.3.6.042-99 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ohranatruda.in.ua/pages/5182/>