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 "Комп'ютерний інжиніринг
обладнання хімічних виробництв"**

Тема роботи: Установка розділення суміші бензол – толуол. Розробити ректифікаційну колону з ситчастими тарілками

Виконала:
студентка групи ХМз-53-7с

Балабан Олена Олександрівна

_____
підпис

Залікова книжка
№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

"___" _____ 20___ р.

Керівник:
канд. техн. наук, доцент

Юхименко Микола Петрович

_____
підпис, дата

Підпис голови
(заступника голови) комісії _____

СУМИ 2020

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

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
Освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних виробництв"

Курс 3 Група ХМз-53-7с Семестр 6

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студентка Балабан Олена Олександрівна

1 Тема проекту: Установка розділення суміші бензол – толуол. Розробити ректифікаційну колону з ситчастими тарілками

2 Вихідні дані: Розробити ректифікаційну колону з ситчастими тарілками для розділення двокомпонентної суміші (бензол і толуол). Продуктивність 4000 кг/год. Вміст ЛЛК (% мол.): у початковій суміші – 30; у дистиляті – 94; у кубовому залишку – 5. Тиск у колоні – атмосферний.

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

1. Технологічна схема ректифікаційної установки – 0,5 арк.
2. Складальне креслення апарату – 1,0 арк.
3. Складальні креслення вузлів – 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. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологи / И.Л. Иоффе. – Л. : Химия, 1991. – 352 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 _____ доцент Юхименко М.П.
підпис

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 57 с., 5 рис., 2 табл., 2 додатки, 18 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема установки, складальне креслення апарата, складальні креслення вузлів – усього 3 аркуші формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Установка розділення суміші бензол – толуол. Розробити ректифікаційну колону з ситчастими тарілками».

Наведено теоретичні основи та особливості процесу ректифікації, виконано технологічні розрахунки процесу, визначені габаритні розміри апарата, його гідравлічний опір, обґрунтовано вибір матеріалів для виготовлення основних деталей та вузлів ректифікаційної колони, розраховано і вибрано допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність та герметичність показана надійність роботи спроектованого апарата.

У розділі «Охорона праці» розглянуте питання Закон України «Про охорону праці».

Ключові слова: УСТАНОВКА, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, СУМІШ, БЕНЗОЛ, ТОЛУОЛ, МІЦНІСТЬ, ТОВЩИНА, ОХОРОНА ПРАЦІ.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	6
1.1 Опис технологічної схеми установки	6
1.2 Теоретичні основи процесу	8
1.3 Опис об’єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	10
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	17
2.1 Технологічні розрахунки	17
2.2 Конструктивні розрахунки	24
2.3 Гідравлічний опір апарата	29
2.4 Вибір допоміжного обладнання	35
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	39
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки	39
3.2 Розрахунок опори апарата	42
4 Монтаж та ремонт апарата	44
4.1 Монтаж апарата	44
4.2 Ремонт апарата	46
5 Охорона праці	49
Список літератури	56
Додаток А – Побудова рівноважної і робочих ліній на діаграмі х – у	
Додаток Б – Специфікації	

Вступ [1]

Ректифікація – це один із самих розповсюджених технологічних процесів у хімічній, харчовій та інших галузях промисловості.

Ректифікація – процес розділення двокомпонентної (бінарної) або багатокомпонентної гомогенної суміші летких рідин на практично чисті компоненти, збагачені легколетучими або важколетучими компонентами; процес відбувається в результаті контакту нерівноважних потоків пара і рідини.

Розділення вихідної бінарної суміші бензол – толуол засновано на різній летючості речовин. При ректифікації початкова суміш ділиться на дві частини:

– дистилят – суміш, що збагачена низькокиплячим компонентом (НК) – бензол;

– кубовий залишок – суміш, що збагачена висококиплячим компонентом (ВК) – толуол.

Ректифікаційні апарати є основними апаратами хімічної промисловості. Значне зростання споживання продуктів хімічного виробництва, більш тверді вимоги до їх якості, розширення асортиментів продуктів, що випускаються, викликає необхідність створення колон, які мають високу продуктивність і ефективність.

Процес ректифікації призначений для поділу деяких сумішей на практично чисті компоненти або фракції, що розрізняються температурою кипіння.

Фізична сутність процесу ректифікації полягає у двосторонньому масо- і теплообміні між нерівноважними потоками пари й рідини або високій турбулізації поверхні контактуючих фаз.

У результаті комплексної роботи над проектом закріплюються практичні навички в розрахунках і проектуванні апаратів хімічної технології. Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок із дотриманням нормативних вимог і представленням усіх регламентованих розділів [2].

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми установки

Технологічна схема ректифікаційної установки для розділення суміші бензол – толуол представлена на рис. 1.1.

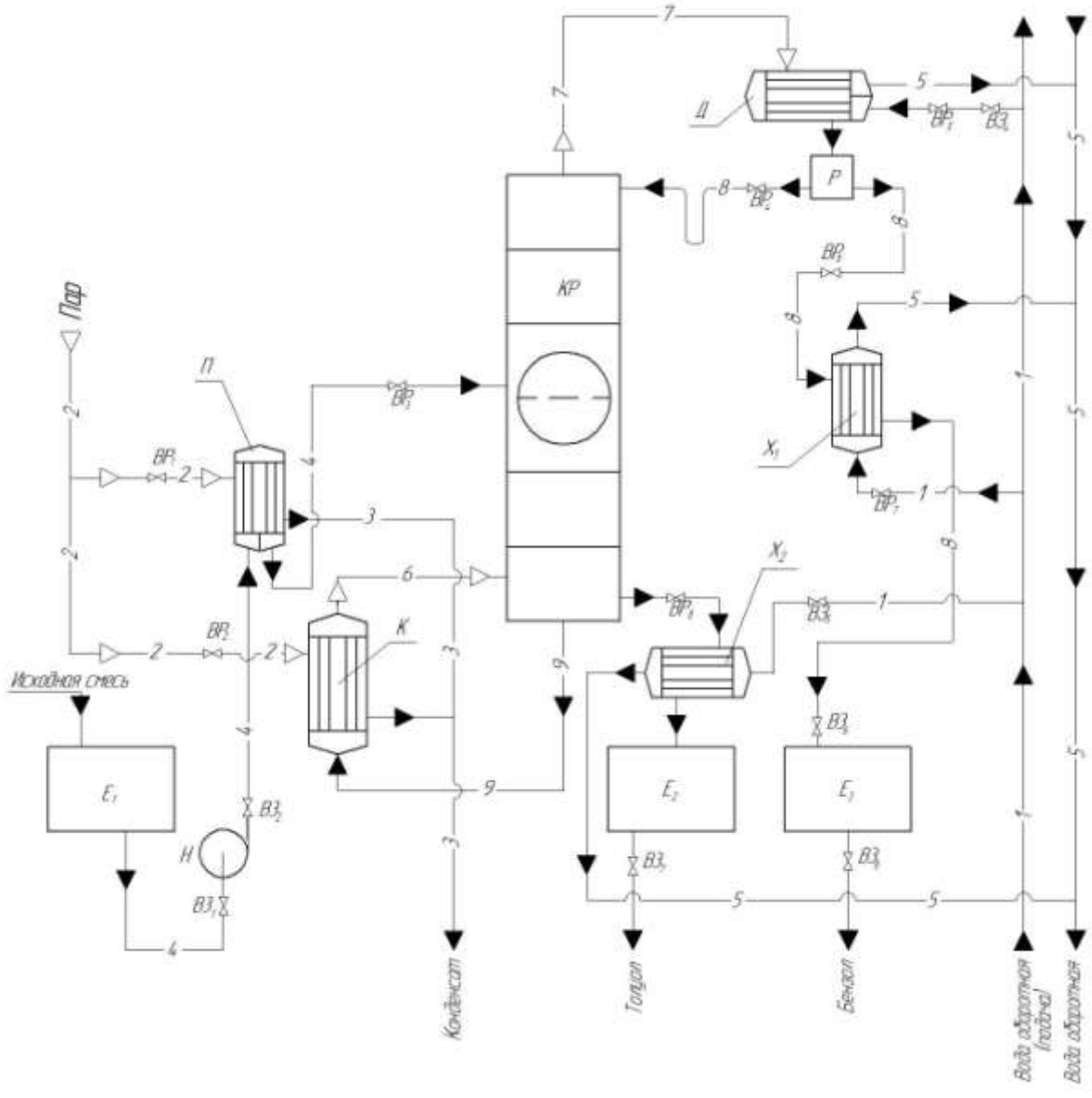

Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки: Е1, Е2, Е3 – ємність; Н – відцентровий насос; П – теплообмінник-підігрівач; К – кип’ятильник; КР – ректифікаційна колона; Х1, Х2 – теплообмінник-холодильник; Д – дефлегматор; Р – розподілювальний стакан

Принцип роботи даної установки полягає у наступному [1]. При безперервній ректифікації початкова бінарна суміш бензол – толуол із проміжної ємності Е1 відцентровим насосом Н подається в теплообмінник-підігрівач П, де підігрівається до температури кипіння. Температуру вихідної суміші після підігріву визначають за показаннями термометра. Далі, уже нагріта суміш, поступає на розділення в ректифікаційну колону КР. Із вичерпної частини колони рідина стікає в кип'ятильник К, де відбувається її вскипання за рахунок тепла насиченої водяної пари. У свою чергу, конденсат гріючої пари відводиться в каналізацію. Витрата гріючої пари регулюється вентилем, а тиск визначається за манометром. Кубовий залишок проходить холодильник Х2, де охолоджується і потрапляє у збірник кубового залишку Е2.

Зі зміцнюючої частини колони пара, що збагачена низькокиплячим компонентом, потрапляє в дефлегматор Д, який охолоджується водою. Витрата води вимірюється ротаметром, а температура її на вході і виході – термометрами. Рідина, що утворилась в дефлегматорі Д після повної конденсації пари, ділиться на дві частини. Перша частина конденсату у вигляді флегми подається на зрошування колони, а друга частина конденсату відбирається у вигляді готового продукту розділення – дистиляту, який потрапляє до збірника дистиляту Е3. Кількість флегми і дистиляту вимірюються ротаметрами.

Основними регулюючими параметрами є:

1) склад рідини у верхній і нижній частинах колони;
2) витрата і температура вихідної суміші;
3) тиск у верхній частині колони;
4) температура і рівень рідини в кубі.

Стабілізація складу рідини у верхній частині колони відбувається шляхом зміни витрати флегми, а в нижній частині – витрати гріючої пари.

Ректифікаційна установка розділення бінарної суміші є безвідхідним виробництвом, тому що отримувані продукти розділення (бензол і толуол) широко використовуються промисловістю.

1.2 Теоретичні основи процесу

Теоретичні основи досліджуваного процесу, які подано у цьому підрозділі, виконано шляхом аналізу літературних джерел [3–6].

На рис. 1.2 приведена схема, яка пояснює процес масопередачі між рідиною і газом (парою). Фази рухаються із певною швидкістю одна відносно одної і розділені рухомою поверхнею розділу.

Перенесення речовини *M*, що розподіляється, відбувається за умов турбулентного руху фаз. Приймемо також, що речовина переходить із фази Φ_Y, де концентрація речовини *M* вище рівноважної, в фазу Φ_X. Таким чином, здійснюється процес масовіддачі із основної маси фази Φ_Y до поверхні розділу фаз і процес масовіддачі від поверхні розділу до основної маси фази Φ_X. У результаті таких частинних процесів, а також подолання опору перенесення через саму поверхню розділу фаз (якщо він має суттєву величину), і відбувається процес масопередачі – перехід речовини із однієї фази в іншу.

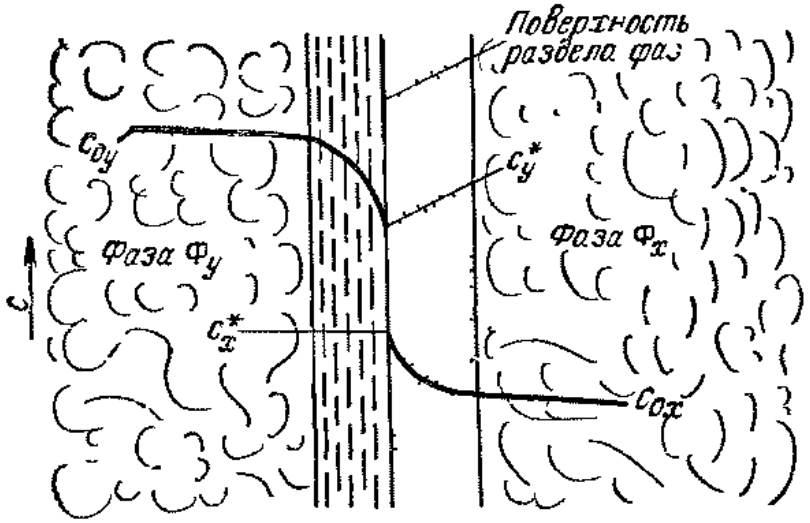

Рисунок 1.2 – Схема розподілу концентрацій у фазах в процесі масопередачі

Процес масопередачі найтіснішим чином пов’язаний зі структурою турбулентного потоку в кожній фазі. При турбулентному русі потоку біля твердої стінки утворюється ламінарний прикордонний шар. Аналогічно, у

кожній фазі розрізняють ядро (основну масу фази) і прикордонний шар біля кордону фази. В ядрі речовина переноситься переважно турбулентними пульсаціями і концентрація розподілюваної речовини в ядрі практично постійна. У прикордонному шарі відбувається поступове згасання турбулентності. Це виражається більш різкою зміною концентрації в міру наближення до поверхні розділення. Безпосередньо біля поверхні перенесення сильно сповільнюється, оскільки його швидкість вже визначається швидкістю молекулярної дифузії. У цій області спостерігається найбільш різка, близька до лінійного, зміна концентрації аж до кордону розділення фаз (див. рис. 1.2).

Такий характер зміни концентрацій пояснюється гальмуючою дією сил тертя між фазами і сил поверхневого натягу на кордоні рідкої фази. Дією цих сил обумовлена схожість між зміною концентрації розподілюваної речовини при масовіддачі і зміною температур біля твердої стінки в процесі тепловіддачі.

Таким чином, при турбулентному русі в ядрі потоку фази перенесення до кордону розділення фаз здійснюється паралельно молекулярною і турбулентною дифузією, причому основна маса речовини переноситься за допомогою турбулентної дифузії. У прикордонному ж шарі швидкість перенесення лімітується швидкістю молекулярної дифузії. Відповідно для інтенсифікації масоперенесення бажано зменшувати товщину прикордонного шару, підвищуючи ступінь турбулентності потоку, наприклад, шляхом збільшення (до певної межі) швидкості фази.

Механізм масовіддачі характеризується поєднанням молекулярного і конвективного перенесення. Ще більш складним є процес масопередачі, який містить у якості складових процеси масовіддачі по обидва боки кордону розділення фаз. У зв’язку із цим запропоновано ряд теоретичних моделей, що представляють собою в тій чи іншій мірі спрощені схеми механізму масоперенесення.

В основу більшості моделей покладені наступні припущення:

1. Загальний опір перенесенню із фази у фазу складається із опору двох фаз і опору поверхні розділення фаз. Однак, опір на поверхні розділення можна, у більшості випадків, вважати рівним нулю. Тоді, приймаючи, що процес перенесення в межах кожної фази протікає незалежно від іншої, загальний опір перенесення можна розглядати як суму фазових опорів.

2. На поверхні розділення фази знаходяться в рівновазі, причому рівновага на кордоні фази встановлюється значно швидше зміни середньої концентрації в ядрі фази.

Згідно плівкової моделі, кількість речовини q, яка перейшла через одиницю поверхні в одиницю часу, пропорційна різниці концентрацій в ядрі і на кордоні фази, якщо перенесення походить від ядра до поверхні розділення фаз:

$$q = \frac{D}{\delta_{ЕФ}} \cdot \left(c_0 - c_{ГР}\right), \qquad (1.1)$$

де c_0 і $c_{ГР}$ – відповідно середня концентрація в ядрі фази і концентрація на межі поділу фаз;

$\delta_{ЕФ}$ – «ефективна» або «приведена» товщина прикордонної плівки.

Для фази по іншу сторону поверхні розділу величина q пропорційна різниці концентрацій на кордоні і в ядрі фази.

У рівнянні (1.1) $D/\delta_{ЕФ}$ – коефіцієнт, що характеризує швидкість масовіддачі, а величина $\delta_{ЕФ}$ за своїм змістом – товщина деякого прикордонного шару, опір якого молекулярній дифузії еквівалентно опору перенесення, зумовленого в дійсності конвективною дифузією.

У плівковій моделі значно спрощено справжні гідродинамічні умови поблизу кордону розділення фаз, де відбувається загасання турбулентності. З цієї причини більшість дослідних даних не підтверджують залежності $q \sim D$, як випливає із рівняння (1.1), якщо вважати, що величина $\delta_{ЕФ}$ не залежить від D.

Крім того, ефективні товщини плівок практично не піддаються розрахунку або вимірюванню.

Матеріальний баланс ректифікаціної колони.

За потоками:

$$G_F=G_D+G_W; \quad (1.2)$$

За легколетючим компонентом:

$$G_F x_F =G_D x_D +G_W x_W, \quad (1.3)$$

де G_F, G_D, G_W – масові або мольні витрати живлення, дистиляту та кубового залишку відповідно;

x_F, x_D, x_W – вміст легколетучего компонента в живленні, дистиляті і кубовому залишку відповідно.

Тепловой баланс ректификационной колонны.

Прихід тепла:

- з теплоносієм в кип'ятильнику Q_K;
- з вихідною сумішшю Q_F;
- з флегмою $Q_Ф$.

Витрата тепла:

- з парами, які надходять з колони в дефлегматор Q_G;
- із залишком Q_W;
- втрати в навколишнє середовище $Q_{ВТР}$.

Таким чином, рівняння теплового балансу:

$$Q_K+ Q_F+ Q_Ф= Q_G+ Q_W+ Q_{ВТР}. \quad (1.4)$$

При роботі колони в адіабатичних умовах і рівності молярних теплот випаровування компонентів в кожному перетині зміцнючої частини (вище введення живлення) концентрація ЛЛК в парі пов'язана з його концентрацією в рідині рівнянням (робоча лінія):

$$y = x\frac{R}{R+1} + \frac{x}{R+1}, \quad (1.5)$$

де R = Ф / D – флегмове число.

Рівняння робочої лінії для вичерпної частини колони (нижче введення живлення):

$$y = x\frac{R+f}{R+1} + x_W\frac{1-f}{R+1}, \tag{1.6}$$

де f = F / D.

Залежність між граничними, або рівноважними, концентраціями розподілюваної речовини в фазах зображується графічно і називається рівноважною лінією.

Положеннння робочих ліній безперервної ректифікації на у-х-діаграмі відображено на рис. 1.3.

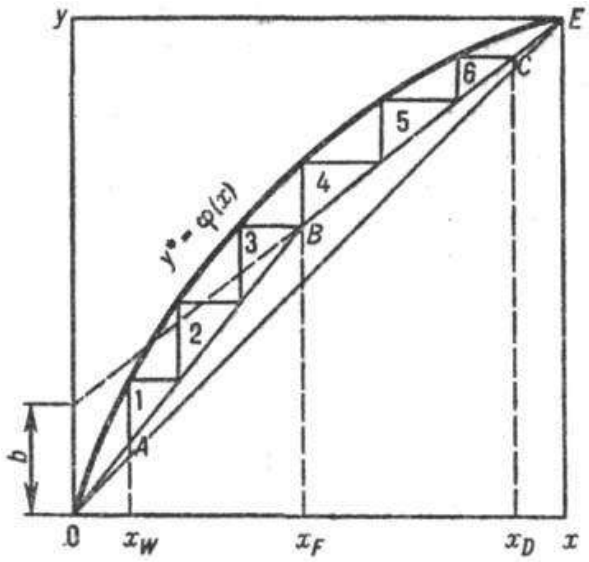

Рисунок 1.3 – Графічне визначення числа теоретичних тарілок:
ОЕ – рівноважна крива; АВ и ВС – робочі лінії для зміцнюючої в вичерпної частин колони; 1–6 – тарілки

Для аналізу роботи колони, розрахунку складу дистиляту і залишку і розподілу концентрацій ЛЛК по висоті апарату використовують поняття про теоретичні ступені поділу, або теоретичні тарілки (ТТ). Така ступінь (тарілка) відповідає деякій гіпотетичній ділянці апарату, де рідина і пар знаходяться в

рівновазі. Число ТТ (nт), необхідне для отримання дистиляту і залишку заданого складу, можна знайти графічно за допомогою y-x-діаграми (рис. 1.3), описує залежність між рівноважними молярними концентраціями парової (y*) і рідкої (x) фаз. Для визначення nт на графіку будують ступінчасту лінію між рівноважною кривою y* = f(x) і ламаною лінією ABC. Лінія AB відповідає рівнянню (1.6), лінія BC – рівнянню (1.5). У представленому прикладі для поділу вихідної суміші на дистилят складу XD і залишок складу XW потрібно по 3 ТТ в зміцнюючій і вичерпній частинах колони.

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів

Тарілчасті колони застосовуються для великої продуктивності, широкого діапазону змін навантажень за паровою фазою і рідиною та можуть забезпечити досить чітке розділення сумішей. Недоліком таких апаратів є відносно високий гідравлічний опір. Але в умовах ректифікації це не має суттєвого значення, адже підвищення гідравлічного опору призводить лише до деякого збільшення тиску і відповідно до підвищення температури кипіння рідини в кип'ятильнику колони.

У нашому випадку об'єктом дослідження є ректифікаційна колона з ситчастими тарілками (рис. 1.4).

Апарат конструктивно складається із циліндричної обичайки, до якої за допомогою фланцевого з'єднання і зварювання прикріплені еліптична кришка і еліптичне днище відповідно. Усередині корпусу горизонтально встановлені контактні пристрої у вигляді ситчастих тарілок. За допомогою тарілок створюється спрямований рух фаз і забезпечується багаторазова взаємодія рідини і пари.

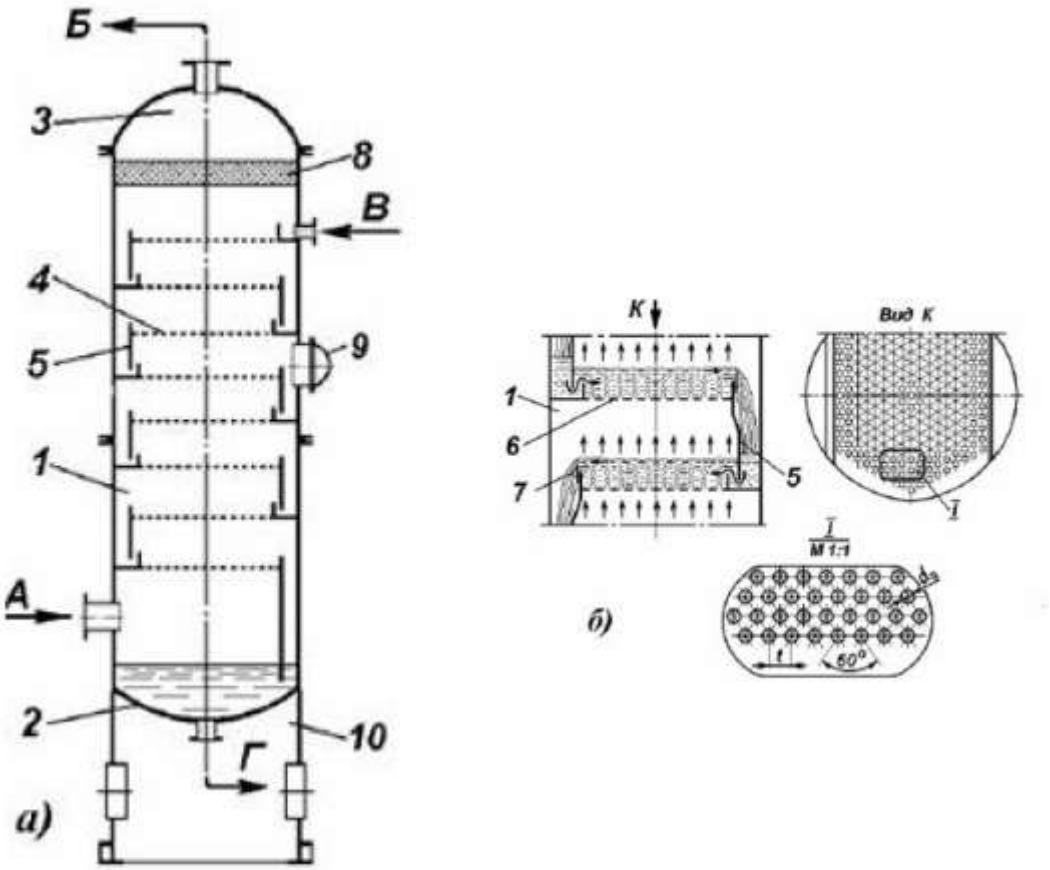

Рисунок 1.4 – Ескіз ректифікаційної колони (а) і схема роботи ситчастої тарілки (б): 1 – корпус; 2 – днище; 3 – кришка; 4 – ситчаста тарілка; 5 – переливна стінка; 6 – полотно тарілки; 7 – переливна планка; 8 – бризковловлювач; 9 – люк-лаз; 10 – циліндрична опора

Ситчасті тарілки, у порівнянні з ковпачковими, мають більшу продуктивність на 30–60%, але робочий діапазон вже зазвичай не перевищує 2,5. Металоємність становить 50–65 кг/м^2. Тарілки вельми чутливі до точності горизонтальної установки і не рекомендуються для роботи із забрудненими і смолистими середовищами, тому що можливе забивання отворів.

Ситчасті тарілки зі зливним пристроєм застосовують у колонних апаратах діаметром 400–4000 мм при відстані між тарілками від 200 мм і більше. Основний елемент таких тарілок – металевий диск з отворами діаметром 2–6 мм, розташованими по вершинах рівносторонніх трикутників (рис. 1.4, б).

У колонах діаметром більше 800 мм тарілки складаються з окремих секцій. По кріпленню секцій тарілки до корпусу і пристрою переливів такі колони аналогічні апаратам з ковпачковими і клапанними тарілками.

Перевага ситчастих тарілок – великий вільний (тобто зайнятий отворами) перетин тарілки, а, отже, і висока продуктивність за парою, простота виготовлення, мала металоємність. За продуктивністю за парою (газом) ці тарілки на 30–60% перевершують ковпачкові. Недолік – висока чутливість до точності установки.

На колоні також передбачені технологічні штуцери для обв'язки апарату технологічними трубопроводами та підключення до технологічної лінії. Також до корпусу колони знизу приварена циліндрична опора, яка забезпечена лапами для кріплення до фундаменту.

У хімічній промисловості умови роботи апаратів характеризуються широким діапазоном температур – приблизно від мінус 254 до плюс 2500°С при тисках від 0,015 Па до 600 МПа при агресивному впливі середовищ [7].

Основними вимогами, яким повинні відповідати хімічні апарати, є механічна надійність, довговічність, конструктивнf досконаліcть, простота виготовлення, зручність транспортування, монтажу, експлуатації тощо [7–9].

Здійснимо підбір конструктивних матеріалів для виготовлення апарата. Підбір будемо здійснювати, беручи до уваги робочу температуру, агресивність середовища та величину робочого тиску.

Із огляду на перераховані вище параметри, вибираємо сталь 16ГС.

Сталь 16ГС відноситься до класу низьколегованих сталей. Спосіб поставки – листова сталь. Характеризується підвищеною міцністю і ударною в'язкістю в інтервалі температур від мінус 70 до плюс 475°С. Добре деформується як в гарячому, так і холодному стані, легко піддається обробці різанням. Дуже добре зварюється усіма видами зварювання. Однак через велику в'язкість вона гірше піддається механічній обробці. Крім того, сталь

нестійка в багатьох агресивних середовищах. Основні фізико-механічні властивості сталі 16ГС наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні фізико-механічні властивості сталі 16ГС

E, МПа	G, МПа	ρ, кг/м^3	σ_B, МПа	σ_T, МПа	ψ, %	δ, %
200000	77000	7850	305	175	51	27

Сталь Ст3 – конструкційна вуглецева звичайної якості. Застосування: несучі елементи зварних і незварних конструкцій, які працюють при плюсових температурах. Добре зварюється усіма видами зварювання, не схильна до відпускної крихкості. Основні фізико-механічні властивості сталі Ст3 наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні фізико-механічні властивості сталі Ст3

E, МПа	G, МПа	ρ, кг/м^3	σ_B, МПа	σ_T, МПа	ψ, %	δ, %
200000	74000	7850	420	250	40	16

Сталь 35Х – конструкційна легована. Застосовується для виготовлення осей, валів, шестерень та інших поліпшуваних деталей. Обмежено зварювана, схильна до відпускної крихкості.

Пароніт – листовий прокладковий матеріал, виготовлений пресуванням азбокаучукової маси, що складається з азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів. Застосовується для ущільнення з’єднань.

2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

2.1 Технологічні розрахунки

Оскільки продуктивність колони по вихідній суміші задана в кг/год., необхідно перевести молярні частки легколеткого компонента в масові [3]:

$$\overline{x_f} = x_f \cdot \frac{M_{лк}}{M_f}; \quad (2.1)$$

$$\overline{x_D} = x_D \cdot \frac{M_{лк}}{M_D}; \quad (2.2)$$

$$\overline{x_W} = x_W \cdot \frac{M_{лк}}{M_W}; \quad (2.3)$$

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

де $M_f = 78 \cdot 0,3 + 92 \cdot (1 - 0,3) = 87,8$ кг/кмоль

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

$M_D = 78 \cdot 0,94 + 92 \cdot (1 - 0,94) = 78,8$ кг/кмоль

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

$M_W = 78 \cdot 0,05 + 92 \cdot (1 - 0,05) = 91,3$ кг/кмоль

$M_{лк}$=78 кг/кмоль, $M_{тлк}$= 92 кг/кмоль – молярні маси легколеткого і важколеткого компонентів [10].

$$\overline{x_f} = 0,3 \cdot \frac{78}{87,8} = 0,267$$

$$\overline{x_D} = 0,95 \cdot \frac{78}{78,8} = 0,940$$

$$\overline{x_W} = 0,05 \cdot \frac{78}{91,3} = 0,043$$

Матеріальний баланс ректифікаційної колони складається з потоків [3]:

$$G_f = G_D + G_W; \tag{2.5}$$

за легколетким компонентом:

$$G_f \cdot \overline{x_f} = G_D \cdot \overline{x_D} + G_W \cdot \overline{x_W}; \tag{2.6}$$

Спільне розвязання рівнянь (2.5) і (2.6) дозволяє отримати залежність для визначення масових витрат дистиляту і кубового залишку:

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

$$G_D = 4000 \cdot \frac{0,267 - 0,043}{0,940 - 0,043} = 999 \text{ кг/год.}$$

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

$$G_W = 4000 \cdot \frac{0,940 - 0,267}{0,940 - 0,043} = 3001 \text{ кг/год.}$$

Криву рівноваги (рис. 2.1) будуємо в координатах у-х за довідковими даними при рівноважних складах рідини і пари у залежності від температури.

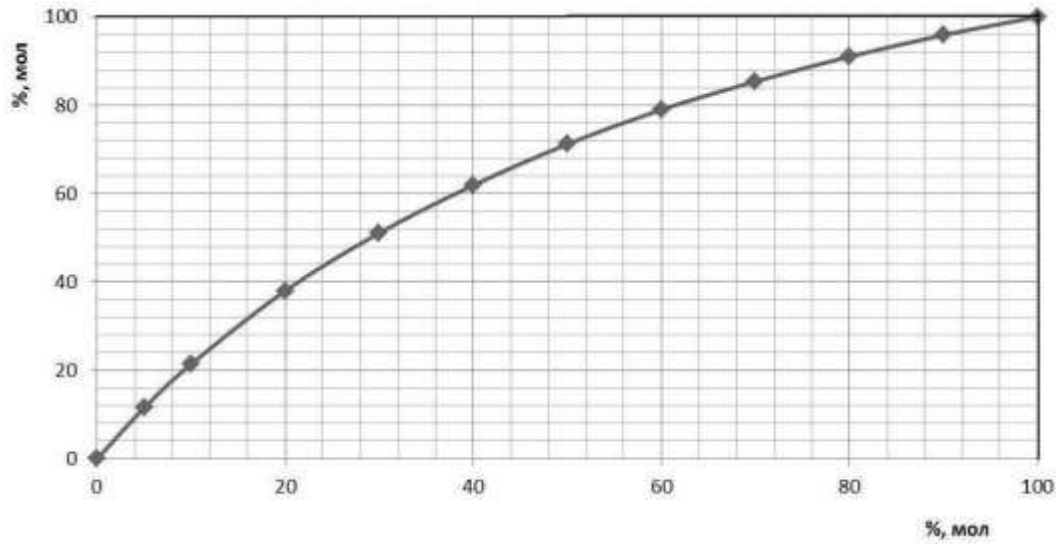

Рисунок 2.1 – Діаграма у-х суміші бензол – толуол

Визначаємо мінімальне флегмовое число за рівнянням [5]:

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

де y_f^* – склад пари, яка перебуває в рівновазі з вихідної сумішшю; y_f^*=0,51 – визначається з кривої рівноваги.

$$R_{\min} = \frac{0,94 - 0,51}{0,51 - 0,30} = 2,05$$

Визначаємо оптимальне флегмовое число R, β = 1,5 [1]:

$$R = \beta \cdot R_{\min} = 1,5 \cdot 2,05 = 3,075 \qquad (2.10)$$

Значення оптимального флегмового числа вирішальним чином впливає на розміри ректифікаційної колони і дозволяє розрахувати масові витрати стікаючої по колоні флегми і піднімаючихся парів [1]:

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

$$G_R = 3,075 \cdot 999 = 3072 \text{ кг/год.}$$

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

$$G_V = (3,075+1) \cdot 999 = 4071 \text{ кг/год.}$$

Робочі лінії процесу визначаються рівняннями [1]:

– для верхньої частини колони:

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

– для нижньої частини колони:

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

де F – число живлення, що визначається за формулою:

$$F = \frac{G_F}{G_D} \cdot \frac{M_D}{M_F}; \qquad (2.15)$$

$$F = \frac{4000}{999} \cdot \frac{78,8}{87,8} = 3,6.$$

Ордината точки А (див. додаток А), в якій перетинаються робочі лінії, визначається за рівнянням (2.13) і (2.14) підстановкою в них замість x значення x_f:

$$y_f^{'} = \frac{3,075}{3,075+1} \cdot 0,30 + \frac{0,94}{3,075+1} = 0,46$$

$$y_f^{//} = \frac{3,6+3,075}{3,075+1} \cdot 0,30 - \frac{3,6-1}{3,075+1} \cdot 0,05 = 0,46$$

Рівність значень $y_f^{/}=y_f^{//}$ засвідчує про відсутність помилок у виконаних розрахунках.

Середні молярні концентрації рідини визначаються за средньоарифметичними залежностями [1]:

– у верхній частині колони:

$$x_{cp}^{/} = \frac{\left(x_f + x_D\right)}{2}; \qquad (2.16)$$

– у нижній частині колони:

$$x_{cp}^{//} = \frac{\left(x_f + x_W\right)}{2}; \qquad (2.17)$$

$$x_{cp}^{/} = \frac{\left(0,30+0,94\right)}{2} = 0,62;$$

$$x_{cp}^{//} = \frac{\left(0,30+0,05\right)}{2} = 0,175.$$

Середні молярні концентрації парової фази визначаються за рівняннями робочих ліній [1]:

– у верхній частині колони:

$$y_{ср}^{/} = \frac{R}{R+1} \cdot x_{ср}^{/} + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.18)$$

– у нижній частині колони:

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

$$y_{ср}^{'} = \frac{3,075}{3,075+1} \cdot 0,62 + \frac{0,94}{3,075+1} = 0,70;$$

$$y_{ср}^{//} = \frac{3,6+3,075}{3,075+1} \cdot 0,175 - \frac{3,6-1}{3,075+1} \cdot 0,05 = 0,25.$$

Середня молярна маса парів розраховується за формулами [1]:

– у верхній частині колони:

$$M_{ср}^{/} = y_{ср}^{/} \cdot M_{ллк} + \left(1 - y_{ср}^{/}\right) \cdot M_{тлк}; \quad (2.20)$$

– у нижній частині колони:

$$M_{ср}^{//} = y_{ср}^{//} \cdot M_{ллк} + \left(1 - y_{ср}^{//}\right) \cdot M_{тлк}; \quad (2.21)$$

$$M_{ср}^{/} = 0,70 \cdot 78 + (1 - 0,70) \cdot 92 = 82,2 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{ср}^{//} = 0,25 \cdot 78 + (1 - 0,25) \cdot 92 = 88,5 \text{ кг/кмоль}$$

Середні густини парів визначаються за рівнянням Клайперона:

– у верхній частині колони [1]:

$$\rho_y^{/} = \frac{M_{ср}^{/} \cdot 273}{22,4 \cdot \left(273 + t_y^{/}\right)}; \quad (2.22)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho_y^{//} = \frac{M_{ср}^{//} \cdot 273}{22,4 \cdot \left(273 + t_y^{//}\right)}; \qquad (2.23)$$

де $t_y^{/}$=90°С – середня температура пари у верхній частині колони в залежності від концентрації $y_{ср}^{/}$ (визначається за діаграмою [3]);

$t_y^{//}$=105°С – середня температура пара в нижній частині колони в залежності від концентрації $y_{ср}^{//}$ (визначається по діаграмі [3]).

$$\rho_y^{/} = \frac{82,2 \cdot 273}{22,4 \cdot \left(273 + 90\right)} = 2,76 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_y^{//} = \frac{88,5 \cdot 273}{22,4 \cdot \left(273 + 105\right)} = 2,85 \text{ кг/м}^3$$

Середні густини рідини знаходяться за правилом адитивності:

– у верхній частині колони:

$$\rho_x^{/} = x_{ср}^{/} \cdot \rho_{ллк}^{/} + \left(1 - x_{ср}^{/}\right) \cdot \rho_{тлк}^{/}; \qquad (2.24)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho_x^{//} = x_{ср}^{//} \cdot \rho_{ллк}^{//} + \left(1 - x_{ср}^{//}\right) \cdot \rho_{тлк}^{//}; \qquad (2.25)$$

де $\rho_{ллк}^{/}$, $\rho_{ллк}^{//}$, $\rho_{тлк}^{/}$, $\rho_{тлк}^{//}$ – густини рідини легколеткого і труднолеткого компонентів при температурах $t_x^{/}$, $t_x^{//}$;

$\rho_{ллк}^{/} = 805$ кг/м^3; $\rho_{тлк}^{/} = 800$ кг/м^3 при температурі $t_x^{/}$ = 87°С [10];

$t_x^{/}$ = 87°С – середня температура рідини у верхній частині колони в залежності від концентрації $x_{ср}^{/}$;

$\rho_{ллк}^{//} = 790$ кг/м^3; $\rho_{тлк}^{//} = 785$ кг/м^3 при температурі $t_x^{//}$ = 102°С [10];

$t_x^{//}$ = 102°С – середня температура рідини в нижній частині колони в залежності від концентрації $x_{ср}^{//}$.

$$\rho_x^{/} = 0,62 \cdot 805 + (1 - 0,62) \cdot 800 = 803 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_x^{//} = 0,175 \cdot 790 + (1 - 0,175) \cdot 785 = 786 \text{ кг/м}^3$$

Середні в'язкості рідини обчислюються за формулами:

– у верхній частині колони:

$$\lg \mu_x^{/} = x_{ср}^{/} \cdot \lg \mu_{ллк}^{/} + \left(1 - x_{ср}^{/}\right) \cdot \lg \mu_{тлк}^{/}; \qquad (2.26)$$

– у нижній частині колони:

$$\lg \mu_x^{//} = x_{ср}^{//} \cdot \lg \mu_{ллк}^{//} + \left(1 - x_{ср}^{//}\right) \cdot \lg \mu_{тлк}^{//}; \qquad (2.27)$$

де $\mu_{ллк}^{/}$, $\mu_{ллк}^{//}$, $\mu_{тлк}^{/}$, $\mu_{тлк}^{//}$ – в'язкості рідких легколеткого і труднолеткого компонентів при температурах $t_x^{/}$ і $t_x^{//}$.

$\mu_{ллк}^{/} = 0,295 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $\mu_{тлк}^{/} = 0,3 \cdot 10^{-3}$ Па·с;

$\mu_{ллк}^{//} = 0,26 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $\mu_{тлк}^{//} = 0,27 \cdot 10^{-3}$ Па·с;

$\mu_x^{/} = 0,000293$ Па·с, $\mu_x^{//} = 0,000268$ Па·с.

Теплові (енергетичні) баланси і розрахунки

Теплове навантаження кип'ятильника визначається за формулою:

$$Q_W = G_V \cdot r_w = G_V \cdot \left(r_{ллк} \cdot \bar{x}_w + r_{тлк}\left(1 - \overline{x_w}\right)\right); \qquad (2.28)$$

де $r_{ллк}$= 379,2 кДж/кг, $r_{тлк}$= 390,1 кДж/кг – питома теплота випаровування легколетючого і важколетючого компонентів при усереднених температурах [10].

$$Q_W = \frac{4071}{3600} \cdot \left(379,2 \cdot 0,043 + 390,1 \cdot (1 - 0,043)\right) = 440 \text{ кВт}.$$

Витрата гріючої пари у кип’ятильнику визначається за формулою:

$$G_{г.п} = Q_W / r_{г.п.}, \quad (2.29)$$

де $r_{г.п}$ = 2250 кДж/кг – питома теплота випаровування гріючої пари.

$$G_{г.п} = \frac{440}{2250} = 0,20 \text{ кг/с}.$$

Теплове навантаження дефлегматора розраховується за формулою:

$$Q_D = G_V \cdot r_d = G_V \cdot \left(r_{ллк} \cdot \overline{x_D} + r_{тлк} \cdot \left(1 - \overline{x_D}\right)\right); \quad (2.30)$$

$$Q_D = \frac{4071}{3600} \cdot \left(379,2 \cdot 0,94 + 390,1 \cdot \left(1 - 0,94\right)\right) = 430 \text{ кВт}.$$

Витрата води в дефлегматорі визначається за формулою:

$$G_в = \frac{Q_D}{C_в \cdot \left(t_{кв} - t_{нв}\right)}, \quad (2.31)$$

де $C_в$ = 4,2 кДж/кг·К – питома теплоємність охолоджуючої води [10].

$$G_в = \frac{430}{4,2 \cdot 20} = 5,1 \text{ кг/с}.$$

2.2 Конструктивні розрахунки

Граничну і робочу швидкості парів у верхній і нижній частинах колони знаходимо за формулами [11]:

$$\omega' = \left(0,75 \div 0,9\right) \cdot \omega_{пр}; \quad (2.32)$$

де $\omega_{пр}$ – швидкість газу, що відповідає точці захлинання.

$$\omega_{пр} = c \cdot \sqrt{\frac{\rho_р - \rho_п}{\rho_п}}; \quad (2.33)$$

де с=0,043 при відстані між тарілками Н=400 мм – коефіцієнт, який вибирається в залежності від конструкції тарілок і відстані між ними.

Гранична швидкість парів:

– для верхньої частини колони

$$\omega'_{пр} = 0,043 \cdot \sqrt{\frac{803 - 2,76}{2,76}} = 0,73 \text{ м/с}$$

– для нижньої частини колони

$$\omega''_{пр} = 0,043 \cdot \sqrt{\frac{786 - 2,85}{2,85}} = 0,71 \text{ м/с}$$

Робоча швидкість парів:

– для верхньої частини колони

$$\omega' = 0,8 \cdot 0,73 = 0,58 \text{ м/с}$$

– для нижньої частини колони

$$\omega'' = 0,8 \cdot 0,71 = 0,57 \text{ м/с}$$

Відношення масових витрат рідкої і парової фаз дорівнює [11]:

– у верхній частині колони:

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{G_R}{G_V} = \frac{R}{R+1}; \qquad (2.34)$$

– у нижній частині колони:

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{G_R + G_f}{G_V} = \frac{R+F}{R+1}; \qquad (2.35)$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{3,075}{3,075+1} = 0,75$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)^{//} = \frac{3,075+3,6}{3,075+1} = 1,64$$

Об'ємна витрата парів дорівнює:

– у верхній частині колони

$$V^{/} = \frac{G_V}{\rho_y^{/}}; \qquad (2.36)$$

– у нижній частині колони

$$V^{//} = \frac{G_V}{\rho_y^{//}}; \qquad (2.37)$$

$$V^{/} = \frac{4071}{3600 \cdot 2,76} = 0,41 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$V^{//} = \frac{4071}{3600 \cdot 2,85} = 0,40 \text{ м}^3/\text{с}$$

Діаметр колони розраховується за формулою [12]:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega}}; \qquad (2.38)$$

– для верхньої частини колони:

$$D^{/} = \sqrt{\frac{0,41}{0,785 \cdot 0,58}} = 0,95 \text{ м}$$

– для нижньої частини колони:

$$D^{//} = \sqrt{\frac{0,40}{0,785 \cdot 0,57}} = 0,95 \text{ м}$$

Приймаємо найближчий більший діаметр колони зі стандартного ряду $D_к$=1000 мм.

Дійсні робочі швидкості пари в колоні дорівнюють:

$$w_в = 0,58 \cdot \left(\frac{0,95}{1,0} \right)^2 = 0,52 \text{ м/с}$$

$$w_н = 0,57 \cdot \left(\frac{0,95}{1,0} \right)^2 = 0,51 \text{ м/с}$$

У результаті побудови горизонтальних і вертикальних відрізків між робочою і рівноважною лініями (Додаток А) число теоретичних тарілок дорівнює $N_m^{/} = 9$ шт., $N_m^{//} = 7$ шт.

Число дійсних тарілок можна визначити за допомогою, так званого, середнього к.к.д. тарілки [12]:

$$N_д = N_т / \eta; \qquad (2.39)$$

де η – к.к.д. тарілки.

Для визначення середнього к.к.д. тарілок знаходимо коефіцієнт відносної летючості розділюваних компонентів α і динамічний коефіцієнт в'язкості вихідної суміші μ.

$$\alpha = P_{лк} / P_{тлк},$$

де $P_{лк}$, $P_{тлк}$ – тиск насиченої пари легколеткого і труднолеткого компонентів при середній температурі в колоні.

$P_{лк}' = 400$ мм.рт.ст; $P_{лк}'' = 600$ мм.рт.ст;

$P_{тлк}' = 150$ мм.рт.ст; $P_{тлк}'' = 200$ мм.рт.ст.

$$\alpha' = 400/150 = 2,67$$

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

$$\mu_x^{/} = 0,000293 \text{ Па·с}, \ \mu_x^{//} = 0,000268 \text{ Па·с};$$

$$\alpha' \cdot \mu_x' = 1,07; \ \alpha'' \cdot \mu_x'' = 1,01$$

За графіком [11] знаходимо η'=0,55; η"=0,55.

Число тарілок:

– у верхній частині колони

$$N_д=9/0,55\approx16 \text{ шт.}$$

– у нижній частині колони

$$N_д=7/0,55\approx13 \text{ шт.}$$

Висота тарільчастої частини колони залежить від числа дійсних тарілок $N_д$ і прийнятої відстані між ними:

$$H_T=\left(N_Д-1\right)\cdot H, \qquad (2.40)$$

де $N_д$=29 – загальна кількість тарілок;

H=400мм – відстань між тарілками.

$$H_т=(29–1)\cdot400=11200 \text{ мм.}$$

Визначення діаметра патрубків.

Діаметр патрубка визначається за формулою [11]:

$$D=\sqrt{\frac{G}{\rho\cdot3600\cdot0.785\cdot\omega}}; \qquad (2.41)$$

де ω – швидкість пара або рідини, м/с.

Швидкість пари приймається в межах 15–20 м/с, швидкість рідини 0,5–2 м/с.

Діаметри патрубків для входу і виходу парів:

$$d_V=\sqrt{\frac{4071}{3600\cdot2,85\cdot0,785\cdot15}}=0,184 \text{ м}$$

Приймаємо діаметри патрубків d_V=200 мм.

Діаметр патрубка для входу флегми:

$$d_R = \sqrt{\frac{3072}{3600 \cdot 803 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,05 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубка d_R=50 мм.

Діаметр патрубка для входу вихідної суміші:

$$d_f = \sqrt{\frac{4000}{3600 \cdot 785 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,06 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубка d_f=60 мм.

Діаметр патрубка для виходу кубового залишку:

$$d_W = \sqrt{\frac{3001}{3600 \cdot 786 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,052 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубка d_W=60 мм.

2.3 Гідравлічний опір апарата

Гідравлічний розрахунок проводимо у відповідності до методики [11].

Обчислимо гідравлічний опір ситчастої тарілки у верхній і нижній частинах колони:

$$\Delta p_{заг} = \Delta p_{сух} + \Delta p_{\sigma} + \Delta p_{пр}, \text{ Па} \qquad (2.42)$$

де $\Delta p_{сух}$ – гідравлічний опір сухої тарілки, Па;

Δp_{σ} – опір, зумовлений силами поверхневого натягу, Па;

$\Delta p_{пр}$ – опір пароріднинного шару, Па.

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{сух} = \xi \cdot \frac{\rho_n \cdot \omega_{отв}^2}{2}, \qquad (2.43)$$

де ξ – коефіцієнт опору незрошуваних ситчастих тарілок з вільним перетином 5–10 %; ξ=1,82 [11];

$\omega_{отв}$ – швидкість пари в отворах тарілки.

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$\omega_{отв} = \frac{w}{F}, \tag{2.44}$$

де w – дійсна робоча швидкість парів, м/с;

F – вільний перетин тарілки (сумарна площа отворів); F=5,14 % [11].

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot \sigma \cdot}{d_0}; \tag{2.45}$$

де σ = $20{,}5 \cdot 10^{-3}$ Н/м – поверхневий натяг рідини при середній температурі у верхній частині колони [10];

σ=$18{,}5 \cdot 10^{-3}$ Н/м – поверхневий натяг рідини при середній температурі у нижній частині колони [10];

d_0=0,004 м – діаметр отворів тарілки [11].

Опір пароріднинного шару на тарілці:

$$\Delta p_{пр} = 1{,}3 \cdot h_{пр} \cdot \rho_{пр} \cdot g \cdot k \text{, Па} \tag{2.46}$$

де $h_{пр}$ – висота пароріднинного шару, м.

$$h_{пр} = h_{п} + \Delta h \text{, м} \tag{2.47}$$

де $h_{п}$ – висота зливної перегородки, м;

Δh – висота шару над зливною перегородкою, м.

$$\Delta h = \left(\frac{V_p}{1{,}85 \cdot П \cdot k} \right)^{\frac{2}{3}} \text{, м} \tag{2.48}$$

де V_p – об'ємна витрата рідини, м^3/с;

$П$ – периметр зливної перегородки, м;

$k = \rho_{пр} / \rho_p$ – відношення густини пароріднного шару (піни) до густини рідини, $k \approx 0{,}5$ [11].

Об'ємна витрата рідини:

$$V_p = \frac{G_D \cdot R \cdot M_{ср}}{M_D \cdot \rho_p} \tag{2.49}$$

де R – флегмове число;

$M_{ср}$ – середня мольна маса рідини, кг/кмоль.

Периметр зливної перегородки знаходимо, розв'язуючи систему рівнянь:

$$\begin{cases} \left(\frac{П}{2}\right)^2 + \left(R - b\right)^2 = R^2 \\ 0{,}1 \cdot \pi \cdot R^2 = \frac{2}{3} \cdot П \cdot b \end{cases} \tag{2.50}$$

де R=0,5 м – радіус тарілки;

$\frac{2}{3} \cdot П \cdot b$ – наближене значення площі сегмента.

Умова нормальної роботи тарілок:

$$H_m > 1{,}8 \cdot \frac{\Delta p}{\rho_p \cdot g} \tag{2.51}$$

де Н – міжтарілчаста відстань, м.

Мінімальна швидкість пари в отворах, достатня для того, щоб ситчаста тарілка працювала усіма отворами:

$$w_{о\ мін} = 0{,}67 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \rho_p \cdot h_{пр}}{\xi \cdot \rho_п}}, \tag{2.52}$$

Верхня частина колони

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$\omega_{отв} = \frac{0,52}{0,0514} = 10,1 \text{ м/с.}$$

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{сух} = 1,82 \cdot \frac{2,76 \cdot 10,1^2}{2} = 256 \text{ Па.}$$

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot 20,5 \cdot 10^{-3}}{0,004} = 20,5 \text{ Па.}$$

Об'ємна витрата рідини:

$$V_p = \frac{999 \cdot 3,075 \cdot 82,2}{3600 \cdot 78,8 \cdot 803} = 1,11 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Розв'язавши систему рівнянь (2.50), отримуємо: П=0,73 м, b=0,161 м.

Висота шару над зливною перегородкою:

$$\Delta h = \left(\frac{1,11 \cdot 10^{-3}}{1,85 \cdot 0,73 \cdot 0,5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,014 \text{ м.}$$

Висота пароріднинного шару:

$$h_{пр} = 0,04 + 0,014 = 0,054 \text{ м.}$$

Опір парорідинного шару на тарілці:

$$\Delta p_{пр} = 1,3 \cdot 0,054 \cdot 803 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 276 \text{ Па.}$$

Загальний гідравлічний опір тарілки у верхній частині колони:

$$\Delta p'_{заг} = 256 + 20,5 + 276 = 552,5 \text{ Па.}$$

Загальний гідравлічний опір у верхній частині колони становить:

$$\Delta p' = \Delta p'_{заг} \cdot N'_{д}, \qquad (2.53)$$

$$\Delta p' = 552,5 \cdot 16 = 8840 \text{ Па}.$$

Нижня частина колони

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$\omega_{отв} = \frac{0,51}{0,0514} = 9,9 \text{ м/с}.$$

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{сух} = 1,82 \cdot \frac{2,85 \cdot 9,9^2}{2} = 254 \text{ Па}.$$

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot 18,5 \cdot 10^{-3}}{0,004} = 18,5 \text{ Па}.$$

Об'ємна витрата рідини:

$$V_p = \left(\frac{G_D \cdot R}{M_D} + \frac{G_F}{M_F} \right) \cdot \frac{M_{ср}}{\rho_p};$$

$$V_p = \left(\frac{999 \cdot 3,075}{78,8} + \frac{4000}{87,8} \right) \cdot \frac{88,5}{3600 \cdot 786} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Висота шару над зливною перегородкою:

$$\Delta h = \left(\frac{2,6 \cdot 10^{-3}}{1,85 \cdot 0,73 \cdot 0,5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,025 \text{ м}.$$

Висота пароріднинного шару:

$$h_{пр} = 0,04 + 0,025 = 0,065 \text{ м}.$$

Опір парорідинного шару на тарілці:

$$\Delta p_{пр} = 1,3 \cdot 0,065 \cdot 786 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 326 \text{ Па}.$$

Загальний гідравлічний опір тарілки у верхній частині колони:

$$\Delta p''_{заг} = 254 + 18,5 + 326 = 598,5 \text{ Па}.$$

Загальний гідравлічний опір у нижній частині колони становить:

$$\Delta p'' = \Delta p''_{заг} \cdot N''_{д}, \qquad (2.54)$$

$$\Delta p'' = 598,5 \cdot 13 = 7780 \text{ Па}.$$

Перевіримо умову нормальної роботи тарілки нижньої частини колони, у якої гідравлічний опір більший, аніж у тарілки верхньої частини:

$$1,8 \cdot \frac{\Delta p''}{\rho_p \cdot g} = 1,8 \cdot \frac{598,5}{786 \cdot 9,81} = 0,14.$$

Це підтверджує правильність прийнятої раніше відстані між тарілками $H_т = 400$ мм, оскільки 0,4 > 0,14.

Перевіримо рівномірність роботи тарілок:

$$w_{о\ мін} = 0,67 \cdot \sqrt{\frac{9,81 \cdot 786 \cdot 0,065}{1,82 \cdot 2,85}} = 6,59 \frac{м}{с};$$

9,9 м/с > 6,59 м/с – отже, тарілки працюватимуть усіма отворами.

Загальний гідравлічний опір колони:

$$\Delta p = \Delta p' + \Delta p''; \qquad (2.55)$$

$$\Delta p = 8840 + 7780 = 16620 \text{ Па}.$$

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і підбір насосу для подачі вихідної суміші [12].

Для всмоктуючого і напірного трубопроводів приймаємо однакову швидкість течіння рідини, як дорівнює $w = 2\ \frac{м}{с}$.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0{,}785 \cdot w}}, \tag{2.56}$$

де V – об'ємна витрата суміші, що подається в колону.

$$V = \frac{4000}{3600 \cdot 800} = 1{,}39 \cdot 10^{-3}\ \frac{м^3}{с};$$

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

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 32 мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$\mathrm{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}, \tag{2.57}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{2 \cdot 0{,}032 \cdot 800}{2{,}65 \cdot 10^{-4}} = 193208,$$

тобто режим турбулентний. Абсолютну шорсткість трубопроводу приймаємо $\Delta = 2 \cdot 10^{-4}\ м$.

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

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

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

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re:

$$\lambda = 0{,}11 \cdot e^{0{,}25}, \tag{2.58}$$

$$\lambda = 0{,}11 \cdot 0{,}00625^{0{,}25} = 0{,}03.$$

Визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктуючої та напірної ліній.

Для всмоктуючої лінії:

1) вхід у трубу (приймаємо з гострими краями) $\xi_1 = 0{,}5$;

2) 2 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 2 \cdot 1{,}1 = 2{,}2$.

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

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

Для напірної лінії:

1) вентиль прямоточний $\xi_1 = 0{,}65$;

2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1{,}1 = 3{,}3$;

3) 1 кожухотрубний теплообмінник $\xi_3 = 3{,}05$;

4) вихід з труби $\xi_3 = 1$.

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

$$\Sigma\xi = 0{,}65 + 3{,}3 + 3{,}05 + 1 = 8.$$

Втрату напору у всмоктуючій лінії знаходимо за рівнянням:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma\xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \tag{2.59}$$

де l, d_E – відповідно довжина і еквівалентний діаметр трубопроводу.

$$h_{П.ВС.} = \left(0,03 \cdot \frac{3}{0,032} + 2,7\right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,1 \text{ м}.$$

Втрата напору в напірній лінії:

$$h_{П.НАП.} = \left(0,03 \cdot \frac{7}{0,032} + 8\right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 3,0 \text{ м}.$$

Загальні втрати напору:

$$h_П = h_{П.ВС.} + h_{П.НАП.}; \quad (2.60)$$

$$h_П = 1,1 + 3,0 = 4,1 \text{ м}.$$

Знаходимо напір насосу за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_ж \cdot g} + H_Г + h_П, \quad (2.61)$$

де $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків у апараті та в ємності, із якої подається рідина. У нашому випадку, враховуючи, що тиск у колоні атмосферний, ця різниця дорівнює 0 МПа;

$H_Г$ – геометрична висота піднімання рідини.

$$H = 5 + 4,1 = 9,1 \text{ м}.$$

Корисну потужність насосу визначаємо за рівнянням:

$$N_П = \rho_р \cdot g \cdot V \cdot H, \quad (2.62)$$

$$N_П = 800 \cdot 9,81 \cdot 1,39 \cdot 10^{-3} \cdot 9,1 = 99 \text{ Вт}.$$

Потужність, яку повинен розвинути електродвигун насосу на вихідному валу при встановленому режимі роботи:

$$N = \frac{N_П}{\eta_{пер} \cdot \eta_н}, \quad (2.63)$$

де $\eta_н, \eta_{пер}$ – коефіцієнти корисної дії відповідно насосу і передачі від електродвигуна до насоса. Приймаємо $\eta_н = 0{,}6$ і $\eta_{пер} = 1$.

$$N = \frac{99}{1 \cdot 0{,}6} = 165 \ Вт.$$

Вибираємо відцентровий насос марки НМШ 8-25-8,5/25-5 із наступними параметрами: об'ємна подача насосу 8,5 м^3/год.; напір насосу 25 м; потужність, яку потребляє насосом 7,5 кВт; частота обертів 1450 об/хв.

Розрахунок і вибір ємності для вихідної суміші [11]. Ємність для зберігання вихідної суміші розраховуємо, виходячи з 6–8 годинного резерву робочого часу, а також з урахуванням коефіцієнту заповнення $\psi = 0{,}8...0{,}85$. Приймаємо $\psi = 0{,}82$.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}; \qquad (2.64)$$

$$V_{EP} = \frac{4000 \cdot 7}{0{,}82 \cdot 800} = 42{,}7 \ м^3.$$

Задамося діаметром ємності $D = 3{,}6 \ м$, тоді її висота буде становити:

$$H = \frac{V_{EP}}{0{,}785 \cdot D^2}, \qquad (2.65)$$

$$H = \frac{42{,}7}{0{,}785 \cdot 3{,}6^2} = 4{,}2 \ м.$$

3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки

Основні розрахункові параметри:

Робоча температура середовища t=105°С. Робочу температуру стінки приймаємо на 5°С меншою: t=100°С.

Робочий тиск в апараті Р = 0,1 МПа.

Розрахунковий тиск для апаратів з робочим надлишковим тиском Р > 0,07 МПа відповідно до рекомендацій наведених у [13] складе:

$$P_p=1,1\cdot p=1,1\cdot 0,1=0,11 \text{ МПа}. \quad (3.1)$$

Приймаємо стандартне значення 0,25 МПа.

Пробний при гідравлічному випробуванні тиск згідно [13] складе:

$$P_{пр}=\max\begin{Bmatrix}1,5Pp[\sigma]_{20}/[\sigma]\\ Pp+0,3\end{Bmatrix}, \quad (3.2)$$

де $[\sigma]_{20}$,$[\sigma]$ – допустиме напруження для матеріалу корпусу при розрахунковій температурі і температурі 20°С, згідно [13]:

$$[\sigma]_{20}=160 \text{ МПа}, \ [\sigma]=152 \text{МПа}.$$

$$P_{пр}=\max\begin{Bmatrix}1,5\cdot 0,25\cdot 140/132\\ 0,25+0,3\end{Bmatrix}=\max\begin{Bmatrix}0,43\\ 0,55\end{Bmatrix}=0,55 \text{ МПа}.$$

Розрахункове значення для модуля поздовжньої пружності для матеріалу корпусу, згідно [13]:

$$E_{20}=2\cdot 10^5 \text{ МПа}, \ E=2\cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт проточності зварного шва, згідно [13], складе: φ=0,9.

Розрахунок товщини стінки обичайки корпусу.

Товщина стінки циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском:

$$S_к = \frac{P_{пр} \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_р - P_{пр}}, \quad (3.3)$$

$$S_к = \frac{0,55 \cdot 1,0}{2 \cdot 152 \cdot 0,9 - 0,55} = 0,002 \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки:

$$S \geq S_К + C, \quad (3.4)$$

де С – загальне значення прибавки, яка складається зі складових:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (3.5)$$

де C_1 – прибавка на корозію і ерозію, при проникності П = 0,1 мм/рік та терміні служби колони τ=15 років складе

$$C_1 = П \cdot \tau = 0,1 \cdot 15 = 1,5 \text{ мм;}$$

C_2 – прибавка на мінусове значення граничного відхилення по товщині листа, мм;

C_3 – технологічна прибавка, яка враховується в залежності від прийнятої технології виготовлення і не включає в себе округлення розрахункової товщини елемента до номінальної товщини за стандартом, мм.

Прибавки C_2 и C_3 враховуються лише в тому випадку, коли сума їх перевищує 5 % від розрахункової товщини обичайки.

$$C = 1,5 + 0 + 0 = 1,5 \text{ мм.}$$

$$S = 0,002 + 0,0015 = 0,0035 \text{ м.}$$

Приймаємо S=0,004 м = 4 мм.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p]=\frac{2[\sigma]\varphi_p(s-c)}{D+(s-c)}, \qquad (3.6)$$

$$[p]=\frac{2\cdot 152\cdot 0,9\cdot(0,004-0,0015)}{1,0+(0,004-0,0015)}=0,68\ \text{МПа}$$

Умова міцності має вигляд:

$$P < [P]: 0,55\ \text{МПа} < 0,68\ \text{МПа}.$$

Умова міцності виконується.

Розрахунок товщини стінки днища.

Номінальна товщина стінки днища (кришки), навантажених внутрішнім надлишковим тиском:

$$S_R=\frac{P_p R}{2[\sigma]\cdot\varphi-0,5P_p}, \qquad (3.7)$$

де R – радіус кривизни в вершині днища; для еліптичних днищ R = D.

$$S_R=\frac{0,55\cdot 1,0}{2\cdot 152\cdot 0,9-0,5\cdot 0,55}=0,002\ \text{м}.$$

Загальне значення прибавки до товщини стінки днища (кришки) складе:

$$C = 1,5 + 0 + 0 = 1,5\ \text{мм}.$$

$$S = 0,002 + 0,0015 = 0,0035\ \text{м}.$$

Приймаємо S=0,004 м = 4 мм.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p]=\frac{2(S-C)\varphi[\sigma]}{D+0,5(S-C)}, \qquad (3.8)$$

$$[p]=\frac{2\cdot(0,004-0,0015)\cdot 0,9\cdot 152}{1,0+0,5\cdot(0,004-0,0015)}=0,68 \quad \text{МПа},$$

що більше пробного, а отже, умова міцності виконується.

3.2 Розрахунок опори апарата

Визначимо навантаження порожнього апарату на опору по формулі:

$$Q_{ап}=M_{ап}\cdot g; \tag{3.9}$$

де $M_{ап}$ – маса порожнього апарату;

$$M_{ап}=M_{к}+M_{дн}+M_{кр}+M_{т}+M_{фл}, \tag{3.10}$$

де $M_{к}$, $M_{дн}$, $M_{кр}$, $M_{т}$, $M_{фл}$ – відповідно маси корпусу, днища, кришки, тарілок, фланців і арматури

$$M_{к}=H\cdot\pi\cdot D\cdot s\cdot\rho, \tag{3.11}$$

де ρ – щільність матеріалу корпусу ρ=7800 кг/м^3;

$$M_{к}=16,1\cdot 3,14\cdot 1,0\cdot 0,004\cdot 7800=1577 \text{ кг}$$

$$M_{дн}=M_{кр}=F\cdot s\cdot\rho, \tag{3.12}$$

де F – площа внутрішньої поверхні еліптичного днища (кришки) F=1,16 м^2;

$$M_{дн}=M_{кр}=1,16\cdot 0,004\cdot 7800=36 \text{ кг}.$$

Маса тарілок:

$$M_{т}=N\cdot m_{т}, \tag{3.13}$$

де $m_{т}$ = 41,5 кг – маса однієї тарілки.

$$M_{т}=29\cdot 41,5=1204 \text{ кг}.$$

Масу фланців і арматури приймемо рівною $M_{фл}$=1000 кг.

Маса порожнього апарату:

$$M_{ап} = 1577 + 2 \cdot 36 + 1204 + 1000 = 3853 \text{ кг};$$

$$Q_{ап} = 3853 \cdot 9{,}81 = 37798 \text{ Н}.$$

Навантаження апарату на опору під час гідравлічних випробувань:

$$Q_{ап}^{и} = (M_{ап} + M_{в}) \cdot g, \quad (3.14)$$

де $M_в$ – маса залитої в апарат води.

$$M_{в} = V \cdot \rho_{в}, \quad (3.15)$$

де V – об'єм апарату

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H = \frac{3{,}14 \cdot 1{,}0^2}{4} \cdot 16{,}1 = 12{,}6 \text{ м}^3;$$

$$M_{в} = 12{,}6 \cdot 1000 = 12600 \text{ кг};$$

$$Q_{ап}^{и} = (3853 + 12600) \cdot 9{,}81 = 161404 \text{ Н}.$$

Виходячи з $Q_{max}=Q_{ап}$ і $Q_{min}=Q_{ап}$, за таблицями [13] вибираємо циліндричну опору третього типу: 3-1000-30-15-350.

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж апарата [14]

Монтажні роботи є складовою частиною загального процесу будівництва підприємства або одного із його об’єктів. Монтаж обладнання проводиться як при будівництві нових об’єктів, так і при реконструкції та ремонті діючих. В останніх двох випадках монтажу передує демонтаж обладнання.

Монтажні майданчики оснащують необхідними вантажопідйомними механізмами і пристосуваннями. Це найчастіше канати, троси, стропи, блоки й поліспасти, різні талі і лебідки, а також вантажопідйомні машини і механізми. Такелажні засоби повинні бути простими у виготовленні, зручними для транспортування, монтажу, перестановки і демонтажу і, звичайно ж, безпечними в роботі.

Монтаж важкого обладнання на фундамент можна здійснювати в повністю зібраному вигляді або великими блоками шляхом нарощування або підрощування.

Тарілчаста ректифікаційна колона поставляється на монтажний майданчик у максимально готовому вигляді (якщо перевезення повністю зібраного апарата є неможливим, його поставляють максимально великими блоками). Завод-виготовлювач до відправки на монтажну ділянку повинен зробити контрольну збірку апарату, нанести необхідні складальні осі та контрольні риски.

Монтаж колонного апарату проводиться безпосередньо за монтажні штуцери, які розташовані вище центру ваги, за допомогою вантажопідйомних механізмів (стрілові крани, щогли тощо). Стропування апарату проводиться за верхню частину, тому для посилення в горизонтальному положенні його обв’язують кутками або швелерами.

Ступінь складності встановлення колонного апарату в проектне положення визначається його габаритними розмірами (висотою і діаметром), масою, а також висотою фундаменту.

Застосовують два основних способи підйому: ковзання і поворот навколо шарніру. Проектований колонний апарат має велику масу і його підйом забезпечується двома щоглами, що дозволяє легко встановлювати апарат на фундамент. Перед підйомом апарат розташовують якомога ближче до фундаменту. Щогли встановлюють по обидва боки від фундаменту вертикально або злегка похило. Необхідність нахилу щогл визначається довжиною самого апарату, його розташуванням по відношенню до фундаменту, розташуванням і висотою щогл, прийнятою схемою стропування.

Переконавшись у надійності такелажного оснащення і перевіривши роботу всіх механізмів, починають підйом апарату. До опорної частини апарату прикріплюють один або два відтяжних троси, вільні кінці яких намотують на барабани лебідок і апарат починають пересувати. При цьому його опорна частина ковзає по заздалегідь підготовленій підставці – на візках або металевих листах. Після відриву від землі апарат встановлюють вертикально, потім піднімають трохи вище фундаменту і плавно опускають на анкерні болти. Далі контролюють відхилення апарату від вертикальності і затягують анкерні болти.

Колонні апарати вивіряють на фундаменті особливо ретельно, оскільки навіть незначне його відхилення від строго вертикального положення може призвести до помітної втрати стійкості і порушення нормальної роботи внутрішніх контактних пристроїв (у нашому випадку клапанних тарілок). Для тарілчастої ректифікаційної колони максимально допустиме відхилення від вертикальності становить 0,1 % висоти апарату, але не більше 15 мм.

Кріплення апарату до фундаменту відбувається за допомогою фундаментних болтів, а також підлягає підливу бетонною сумішшю.

Після встановлення апарату на фундамент перевіряють, чи відповідає його розташування у просторі проектному плану, а відхилення від

вертикальності або горизонтальності знаходиться в допустимих межах. Допуск на точність монтажу зазвичай встановлюють на підставі паспорта обладнання та вимогам монтажних інструкцій. Перш за все, доводять до проектної висоти позначку опорної частини обладнання. Фактичний рівень опорної поверхні, як і горизонтальність апарату, визначають по нівеліру.

При підготовці колонного апарату до ремонту тиск усередині колони доводять до атмосферного, видаляють із апарату вуглеводні, пропарюють колону водяною парою. Водяна пара витісняє залишки токсичних сполук, щоб концентрація шкідливих і горючих речовин не перевищувала гранично допустимих концентрацій (ГДК). Після пропарювання колону промивають водою. У деяких випадках пропарку і промивку чередують і проводять по кілька разів.

Промивання колони водою сприяє також більш швидкому її охолодженню. Не можна приступати до ремонтних робіт, якщо температура промивної води перевищує 50°С.

Пропарену і промиту колону від'єднують від усіх апаратів і комунікацій глухими заглушками, що встановлюються на фланцевих з'єднаннях штуцерів. Установку кожної заглушки і подальше її зняття реєструють в спеціальному журналі.

4.2 Ремонт апарата [14, 15]

Ремонт апарата починають із його відкривання, яке необхідно проводити, суворо дотримуючись наступних правил. Спочатку відкривають верхній люк, причому перед цим в апарат протягом деякого часу подають водяну пару, щоб уникнути можливого підсосу повітря, у результаті якого може утворитися вибухонебезпечна суміш. Далі послідовно (згори вниз) відкривають інші люки. Категорично забороняється одночасно відкривати верхній і нижній люки. Не можна також відкривати спочатку нижній, а потім верхній люк, оскільки внаслідок різниці температур відбувається сильний

приток повітря в колону, що може призвести до утворення вибухонебезпечної суміші.

Після відкривання люків колона деякий час провітрюється. Після закінчення провітрювання потрібно провести аналіз проб повітря, взятих із колони на різних висотних відмітках. До робіт всередині колони дозволяється приступати тільки тоді, коли аналіз покаже, що концентрація шкідливих газів у ній не перевищує гранично допустимих санітарних норм.

Далі необхідно виконати ретельний зовнішній і внутрішній огляди корпусу колони для виявлення можливих дефектів, які утворилися при експлуатації апарату (механічні пошкодження, тріщини, корозія тощо). За необхідності огляду всієї поверхні корпусу розбирають внутрішні пристрої або їх частину. Наприклад, для доступу до тарілок, на рівні яких люки відсутні, розбирають проходи на тарілках, що лежать вище.

Суцільнозварні колонні апарати при ремонті повністю не демонтуються. Демонтуються лише внутрішні пристрої колони.

За характером виявленого дефекту встановлюють спосіб ремонту корпусу. Нещільні зварні шви вирубують, зачищають і заварюють відповідним електродом. Вельми важливо правильне перекривання нового і старого швів.

Зношені штуцери і люки вирізають і замінюють новими із обов’язковим встановленням зміцнювальних кілець. Бажано, щоб кільця нових штуцерів мали дещо більший діаметр, аніж старі: це дозволяє приварювати їх в новому місці.

Під час кожного ремонту вимірюють фактичну товщину стінки корпусу експлуатованого апарату. Найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізають, а на їх місце вставляють нову ділянку. Зварювання проводять у стик. Вирізання великих ділянок корпусу може призвести до послаблення перерізу і порушення стійкості. Тому до вирізання дефектної ділянки цю ділянку зміцнюють спеціальними стійками.

Дуже часто, зважаючи на трудомісткість таких замін ділянок корпусу, визнають доцільним повну заміну корпусу колони. Демонтаж зношеної колони виконують у зворотному порядку (порівнюючи з монтажем).

Після ремонту ректифікаційну колону піддають гідравлічним або пневматичним випробовуванням.

5 Охорона праці

Закон України «Про охорону праці».

Закон України «Про охорону праці» – Закон України, що визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом (далі – власник) і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні. Прийнятий 14 жовтня 1992 р.; закон діє у редакції від 21 листопада 2002 р. із змінами та доповненнями [16].

ЗУ «Про охорону праці» складається з дев’яти розділів, що містять загальні положення з охорони праці, гарантії прав на охорону праці, організацію охорони праці, стимулювання охорони праці, нормативно-правові акти з охорони праці, державне управління охороною праці, державного нагляду та громадський контроль за охороною праці, відповідальність за порушення законодавства про охорону праці та прикінцеві положення [17].

Так, у розділі І «Загальні положення» (стаття 1) наводяться визначення понять: «охорона праці», «роботодавець», «працівник», та окреслюється дія цього Закону (стаття 2), який поширюється на всіх фізичних та юридичних осіб [18].

ЗУ «Про охорону праці» визначає, що **охорона праці** – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі саме трудової діяльності (а не праці, як це було передбачено раніше) [17].

У статті 3 йдеться про те, що при укладанні міжнародних договорів, на обов'язковість яких надала згоду Верховна Рада України, в яких встановлено інші норми, ніж ті, що передбачені законодавством України про охорону праці,

застосовуються норми міжнародного договору. Основними принципами державної політики в галузі охорони праці (стаття 4) є пріоритет життя та здоров'я людини перед будь-якими результатами виробничої діяльності, її соціальний захист та відшкодування шкоди, заподіяної здоров'ю, навчання з питань охорони праці, повної відповідальності роботодавця за створення безпечних і здорових умов праці шляхом суцільного контролю та ін [18].

У розділі ІІ «Гарантії прав громадян на охорону праці» передбачено, що роботодавець зобов'язаний інформувати працівника про умови праці; виплачувати компенсацію за шкідливі умови праці або в разі смерті; забезпечувати соціальне страхування від нещасних випадків і профзахворювань (оплата з Фонду соціального страхування від нещасних випадків); відшкодовувати шкоду, заподіяну працівникові на виробництві; письмово, не пізніше як за 2 місяці, інформувати працівника про зміни виробничих умов або пільг; забезпечувати спецодягом та засобами індивідуального захисту згідно з чинними нормативами та умовами колективного договору; зафіксовано право працівника відмовитись від виконання робіт, якщо це загрожує його здоров'ю та життю, та ін.

У Законі є статті про охорону праці жінок, неповнолітніх, інвалідів.

У розділі ІІІ «Організація охорони праці» йдеться про те, що роботодавець обов'язково створює систему управління охороною праці на підприємстві і забезпечує її функціонування для досягнення встановлених нормативів і підвищення існуючого рівня охорони праці. В розділі наведені обов'язки працівників: дбати про здоров’я і безпеку як особисту, так і оточуючих; знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці; проходити встановлені законодавством медичні огляди. Працівник несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених вимог.

У статті 15 йдеться про створення на підприємстві служби охорони праці при кількості працюючих – 50 і більше осіб, при меншій чисельності – очолює службу охорони праці сумісник або сторонній спеціаліст на договірних засадах

(відповідно до Типового положення про службу охорони праці). Служба охорони праці підпорядковується роботодавцю, а її керівники та спеціалісти за своєю посадою і заробітною платою прирівнюються до керівників і спеціалістів основних виробничо-технічних служб. Працівники служби мають право видавати керівникам структурних підрозділів підприємства обов'язкові для виконання приписи, зупиняти роботу виробництва, дільниці, машини або устаткування в разі порушень правил безпеки, що створюють загрозу життю або здоров’ю працюючих та ін. Ліквідація служби охорони праці можлива тільки у разі ліквідації підприємства. Для допомоги службі охорони праці на підприємстві, згідно з Типовим положенням, може бути створена комісія з питань охорони праці. Рішення комісії мають рекомендаційний характер.

Усі працівники під час прийняття на роботу і в процесі роботи повинні проходити за рахунок роботодавця інструктаж, навчання з питань охорони праці та правил надання першої медичної допомоги потерпілим і правил поведінки у разі виникнення аварії (стаття 18). Навчання та перевірка знань повинна здійснюватись один раз на рік для працівників, зайнятих на роботах із підвищеною небезпекою, і один раз на 3 роки для всіх посадових осіб (відповідно до типового положення, затвердженого спеціально уповноваженим центральним органом нагляду за охороною праці).

У статті 19 говориться, що фінансування охорони праці здійснюється роботодавцем. Для підприємств, незалежно від форми власності, або фізичних осіб, які використовують найману працю, витрати на охорону праці становлять 0,5 % від суми реалізованої продукції. Для підприємств, що фінансуються з державного або місцевого бюджетів, на охорону праці передбачається витрачати не менше 0,2 % від фонду оплати праці. Фінансування загальнодержавних, галузевих, регіональних програм та профілактичних заходів з охорони праці здійснюється з державних і місцевих бюджетів та інших джерел фінансування, визначених законодавством. Законом передбачено вносити в колективний договір, угоду соціальні гарантії для працівників

підприємства з питань охорони праці (стаття 20) з визначенням їх фінансування. Будівлі, споруди, устаткування, машини, механізми, транспортні засоби повинні відповідати вимогам нормативно-правових актів з охорони праці і, перед введенням у дію, повинні пройти експертизу (стаття 21). Розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій організовує роботодавець (стаття 22) відповідно до положення, що затверджується Кабінетом Міністрів України. У статті 23 передбачається надання інформації роботодавцем Фонду соціального страхування від нещасних випадків про стан охорони праці. Ця інформація повинна доводитись до всіх працівників підприємства, а також направлятися до органів державного управління і державного нагляду. Відповідно до Закону (стаття 24), можуть створюватися добровільні об'єднання (асоціації, товариства) громадян, працівників і спеціалістів з метою поліпшення охорони праці.

У розділі IV – «Стимулювання охорони праці» йдеться про економічне стимулювання працівників (стаття 25) за активну участь та ініціативу у запровадженні заходів щодо підвищення рівня безпеки праці, яке здійснюється згідно з колективним договором, угодою та законодавством. Відшкодування збитків (стаття 26) за порушення правил охорони праці – державі, юридичним і фізичним особам – згідно з діючим законодавством. Витрати на рятування потерпілих під час аварії та ліквідацію її наслідків, на розслідування її причин, а також інші витрати, передбачені законодавством, відшкодовує роботодавець.

Розділ V – «Нормативно-правові акти з охорони праці». До них належать правила, норми, регламенти, положення, стандарти, інструкції та інші документи, обов'язкові для виконання. Вони переглядаються за необхідністю, але не рідше одного разу на 10 років. Стандарти, технічні умови та інші документи на засоби праці і технологічні процеси повинні містити вимоги щодо охорони праці і погоджуватися з органами державного нагляду за охороною праці. Дія нормативно-правових актів з охорони праці поширюється на сферу трудового й професійного навчання.

Розділ VI – «Державне управління охороною праці» (стаття 32) – визначає органи державного управління охороною праці та їх компетенцію – Кабінет Міністрів (забезпечує реалізацію державної політики в галузі охорони праці); спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади; Рада міністрів АР Крим, місцеві державні адміністрації та органи місцевого самоврядування. З метою координації діяльності органів державного управління охороною праці створюється Національна рада з питань безпеки життєдіяльності населення, яку очолює віце-прем'єр-міністр України. Міністерства та інші центральні органи виконавчої влади проводять єдину науково-технічну політику з питань охорони праці, розробляють і реалізують галузеві програми, здійснюють методичне керівництво діяльністю підприємств галузі, здійснюють відомчий контроль за станом охорони праці, укладають із галузевими профспілками угоди з питань охорони праці та ін. (стаття 33). Спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з нагляду за охороною праці здійснює контроль та комплексне управління охороною праці на державному рівні, займається нормотворчою діяльністю та ін. Рішення, прийняті спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з нагляду за охороною праці в межах його компетенції, є обов'язковими для виконання всіма міністерствами, іншими центральними органами виконавчої влади, Радою міністрів Автономної Республіки Крим, місцевими державними адміністраціями, органами місцевого самоврядування, юридичними та фізичними особами.

Статті 34, 35, 36 містять положення про повноваження Ради міністрів АР Крим, місцевих державних адміністрацій, органів місцевого самоврядування. Наукові дослідження з проблем охорони праці (стаття 37) проводяться науково-дослідними інститутами, проектно-конструкторськими установами та організаціями в межах загальнодержавної та інших програм із цих питань – науково-дослідними інститутами, проектно-конструкторськими установами та організаціями, вищими навчальними закладами та фахівцями.

Розділ VII – «Державний нагляд і громадський контроль за охороною праці». Державний нагляд (стаття 38) здійснюють: спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з нагляду за охороною праці – Держнаглядохоронпраці: спеціально уповноважений державний орган із питань радіаційної безпеки – Державний комітет України із ядерної та радіаційної безпеки; спеціально уповноважений державний орган з питань пожежної безпеки – Управління пожежної охорони МНС України; спеціально уповноважений державний орган з питань гігієни праці – Санітарно-епідеміологічна служба МОЗ України. В статтях 39 і 40 визначаються права і відповідальність, а також соціальний захист посадових осіб спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з нагляду за охороною праці.

Громадський контроль за дотриманням законодавства про охорону праці (стаття 41) здійснюють профспілки, їх об'єднання в особі своїх виборних органів і представників. У разі відсутності профспілки громадський контроль здійснює уповноважена найманими працівниками особа, яка наділена правом перевіряти стан охорони праці (стаття 42) і діє відповідно до типового положення.

Розділ VIII – «Відповідальність за порушення законодавства про охорону праці». За порушення законодавства про охорону праці передбачено штраф (стаття 43), максимальний розмір якого становить 5% місячного фонду заробітної плати юридичної чи фізичної особи, яка використовує найману працю. Кошти від штрафів зараховуються до Державного бюджету. Відповідальність за порушення вимог щодо охорони праці (стаття 44) передбачається дисциплінарна, адміністративна, матеріальна та кримінальна.

Розділ IX. «Прикінцеві положення». Закон набирає чинності з дня його опублікування, а частина четверта статті 19 – з 1 січня 2003 р.

Для практичної реалізації Закону «Про охорону праці» був прийнятий 15 грудня 1993 року Закон України «Про внесення змін і доповнень, що

стосуються охорони праці, до Кодексу законів про працю України», а також Закон України «Про внесення змін і доповнень до Кодексу України про адміністративні правопорушення і Кримінального кодексу України» від 15 січня 1995 року і ряд підзаконних актів, затверджених постановою Кабінету Міністрів: Положення про створення Національної Ради з питань безпеки життєдіяльності населення, Положення про розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на підприємствах, в установах і організаціях, Правила відшкодування власником підприємства, установи, організації або уповноваженим ним органом шкоди, заподіяної працівнику ушкодженням здоров'я, пов'язаним із виконанням трудових обов'язків, Положення про порядок накладання штрафів на підприємства, установи і організації за порушення нормативних актів про охорону праці та ін. Держнаглядохоронпраці розробив ще цілий ряд положень, спрямованих на практичну реалізацію Закону України «Про охорону праці» [18].

Таким чином, як міжгалузевий інститут охорона праці є цілісною системою норм різної галузевої належності, що регулює спеціальні заходи з охорони здоров'я окремих категорій громадян, зайнятих у сфері праці, від несприятливого впливу виробничих факторів на їхню працездатність [17].

Список літератури

1. Процес ректифікації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00243947_0.html.

2. 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.

3. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологи / И.Л. Иоффе. – Л. : Химия, 1991. – 352 с.

4. 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.

5. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.

6. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.

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. 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.

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

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

13. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов втузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Л. : Машиностроение, 1984. – 301 с.

14. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.

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

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

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

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