

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.
Separation unit for benzene – toluene mixture. Develop
rectification column with sieve plates

Виконав:
студент групи ХМдн – 84гд
Малиник Руслан Юрійович

підпис

Залікова книжка
№ 20320406

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20__ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Юхименко Микола Петрович

підпис, дата

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

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

Курс 4 Група ХМдн – 84гд Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту Малинику Руслану Юрійовичу

1 Тема роботи: Установка розділення суміші бензол – толуол. Розробити ректифікаційну колону з ситчастими тарілками / Separation unit for benzene – toluene mixture. Develop rectification column with sieve plates

2 Вихідні дані: Розробити ректифікаційну колону для розділення суміші бензол – толуол продуктивністю 4000 кг/год. Вміст легколеткого компоненту (% мас.): в початковій суміші 26; у дистилаті 94; у кубовому залишку 4,5. Типа тарілок – ситчасті. Тиск у колоні прийняти атмосферний.

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

1. Технологічна схема ректифікаційної установки – 0,5 арк.
2. Складальне креслення ректифікаційної колони – 1,0 арк.
3. Креслення складальних одиниць – 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. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Ленинград : Машиностроение, 1989. – 384 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 2021 р.

Керівник

підпис

к.т.н., доц. Юхименко М.П.

ЗМІСТ

ВСТУП	С. 5
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки	7
1.2 Теоретичні основи досліджуваного процесу	8
1.3 Опис проектованої колони та вибір конструкційних матеріалів	19
2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ ТА АПАРАТУ	24
2.1 Технологічні розрахунки	24
2.2 Конструктивні розрахунки	32
2.3 Гідравлічні розрахунки	37
2.4 Вибір допоміжного обладнання	43
3 РОЗРАХУНКИ АПАРАТА НА МІЦНІСТЬ	49
3.1 Розрахунок товщини стінок корпусу апарата та днища	49
3.2 Розрахунок опори апарата	52
4 МОНТАЖНІ ТА РЕМОНТНІ РОБОТИ	55
4.1 Монтаж апарата	55
4.2 Ремонт апарата	57
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	59
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	65
ДОДАТКИ	

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Малиник</i>				Ректифікаційна колона з ситчастими тарілками Пояснювальна записка	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Юхименко</i>						4	66
<i>Реценз.</i>						СумДУ, ХМдн – 84гд		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>	<i>Склабінський</i>							

ВСТУП

Колонні апарати застосовуються для проведення процесів, дуже поширених в хімічній техніці, що вимагають здійснення по можливості повного контакту між оброблюваними рідиною і газом або паром. До них відносяться такі дифузійні процеси, як абсорбція, десорбція, ректифікація, а також охолодження та зволоження промислових газів, мокре очищення газів та інші [1].

Ректифікація є одним зі способів розділення рідких сумішей, що заснований на різному розподілі компонентів суміші між рідкою і паровою фазами. У якості апаратів для проведення ректифікації використовуються ректифікаційні колони, які складаються із власне самої колони, де здійснюється протитечійне контактування пари і рідини, та пристроїв, в яких відбувається випаровування рідини і конденсація пари – куба і дефлегматора відповідно [1].

Загалом, колони являють собою судини, які виготовлені з матеріалів, стійких до дії оброблюваних речовин, розраховані на відповідний тиск. Висота колони зазвичай у кілька разів перевищує її діаметр. Форма перерізу є коло, але іноді буває квадратною або багатокутною, якщо колона зроблена з дерева або природного каменю. Через колони протитечією пропускаються оброблювані рідина і газ (або пара), рідина – самопливом звернувши вниз, а газ – знизу вгору.

Відповідно до застосовуваних внутрішніх контактних пристроїв розрізняють насадкові і тарілчасті колонні апарати. Основне призначення тарілок і насадки – поділ міжфазної поверхні і поліпшення контакту між рідиною і паром. Тарілки, як правило, забезпечуються пристроєм для переливу рідини. У якості насадки ректифікаційних колон зазвичай використовуються кільця, діаметр яких дорівнює їх висоті.

Для того, щоб максимально розвинути поверхню міжфазового контакту, вживають наступні заходи: поміщають всередину колони насадки, якими стікає оброблювана рідина; рідину розбризкують, завдяки чому поверхня зіткнення її

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

з газом або парою сильно збільшується; ділять апарат по висоті на кілька відсіків, змушуючи в кожній із них газ барботувати через шар рідини [2].

У даній кваліфікаційній роботі запроектована ректифікаційна колона з ситчастими тарілками, яка призначена для розділення бінарної суміші бензол – толуол. Загалом кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок [3] із представленням усіх регламентованих розділів.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки

Технологічну схему ректифікаційної установки безперервної дії представлено на рис. 1.1.

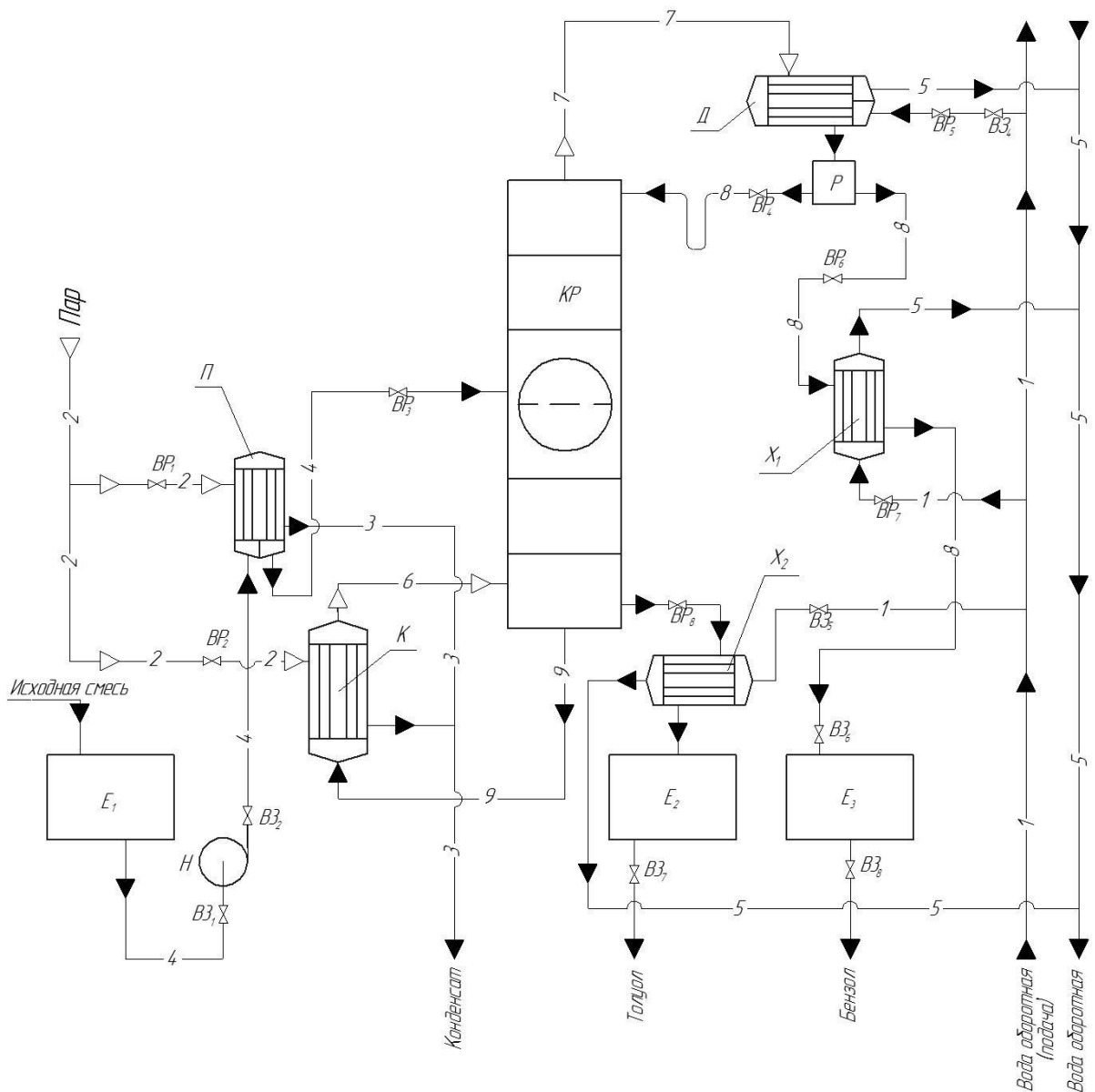


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки
для розділення суміші бензол – толуол

Принцип роботи даної установки полягає у наступному. Бінарна суміш, яка складається з толуолу і бензолу, із первісної ємності за допомогою відцентрового насосу подається у підігрівач, де нагрівається до температури початку кипіння. Уже підігріта суміш спрямовується у секцію живлення атмосферної ректифікаційної колони з ситчастими тарілками. Тарілка живлення умовно розділяє колону на дві частини: верхню – зміцнюючу і нижню – вичерпну. На тарілці живлення склад рідини відповідає складу вихідної бінарної суміші.

У результаті розділення суміші з нижньої частини колони відводиться толуол, який спрямовується до споживача. Частина толуолу відбирається із нижньої частини колони і виходить у кип'ятильник, де відбувається його вскипання. Таким чином утворюється пара висококиплячого компоненту, який повертається під нижню тарілку ректифікаційної колони у якості парового зрошення.

У верхній частині колони відбувається процес зміцнення пари низькокиплячим компонентом за рахунок багатоступеневого контактування на масообмінних тарілках зі стікаючою зверху униз флегмою. Пара, що відводяться з верхньої частини колони, надходять у дефлегматор, де конденсується у міжтрубному просторі апарату за рахунок відведення тепла холодоагенту, що рухається у трубному просторі. Частина отриманого конденсату відбирається і у вигляді флегми повертається в колону на зрошення її верхньої частини. Дистилят додатково охолоджується в холодильнику і спрямовується до відповідного збірника. Далі отриманий рідкий бензол може бути використаний, як вихідний реагент для синтезу найрізноманітніших сполук, а також у якості розчинника для інших реакцій.

1.2 Теоретичні основи досліджуваного процесу [1, 2, 4]

Провальні тарілки відрізняються від інших відсутністю зливних пристроїв. Висота шару рідини на провальних тарілках визначається лише

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

швидкісним напором пари (газу), причому надмірна кількість рідини через отвори (щілини) в тарілках стікає прямо на тарілки, що розташовані нижче.

Висота колон визначається числом реальних тарілок і відстанню між ними, а в насадкових колонах – висотою насадки, еквівалентної необхідному числу теоретичних тарілок.

Коефіцієнт корисної дії колони i , отже, кількість тарілок залежить від багатьох факторів: інтенсивності режиму та пов'язаного з ним бризгоуносу, фізико-хімічними властивостями оброблюваних речовин, конструктивних факторів тощо. При обробці конкретної рідини найбільше впливає гідравлічний режим. Розробка ефективних конструкцій та визначення оптимальних розмірів тарілок, ковпачків, зливних пристроїв та інших деталей колони дуже важливі тому, що від них залежить можливість здійснення бажаного режиму та забезпечення найкращих умов масообміну.

При розрахунку теоретичної тарілки передбачається, що рідина і пара, що знаходиться над нею, знаходяться в повній термодинамічній рівновазі і залишаються нерухомими або рухаються паралельно, що є найменш сприятливим для перебігу процесу. Умови роботи більш сприятливі, якщо дотичні рідини та газу переміщуються протитечією. Якщо при цьому рідина на тарілці не перемішуватиметься, умови процесу будуть оптимальними. Здійснити протитечію в апаратах з ковпачковими, ситчастими та клапанними тарілками неможливо. Лише апарати з провальними тарілками дають змогу здійснити протитечію. В апаратах з тарілками вдається здійснити лише перехресний ток, який за ефективністю займає проміжне положення між протитечією та паралельним током.

Ефективність роботи тарілок з перехресним током визначається такими величинами:

- навантаженням тарілки по газу та рідині;
- відстанню між тарілками;
- довжиною периметра барабана;

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

При подальшому збільшенні подачі газ виходить з-під ковпачка вже не окремими бульбашками, а суцільним потоком, спрямовується знизу вгору і відтісняє рідину таким чином, що навколо ковпачка утворюється кільцева щілина (рис. 1.2б). Газ захоплює рідину, захоплює її вгору, внаслідок чого утворюється шар піни та велика кількість бризок. Поверхня дотику фаз та інтенсивність режиму при цьому сильно зростають.

Ситчасті тарілки. Ці типи тарілок є більш прості і дешевші за ковпачкові. Вони мають більшу пропускну здатність і вносять менший гідравлічний опір у порівнянні з ковпачковими. Ситчасті тарілки набули великого поширення в установках глибокого охолодження та дозволили сконструювати ефективні та високопродуктивні розділові агрегати.

Застосування ситчастих тарілок в інших галузях промисловості гальмувалося через недостатню вивченість роботи тарілок. У якості недоліків ситчастих тарілок зазвичай вказувалося:

- жорсткість режиму та неможливість коливання продуктивності у значних межах;
- стікання рідини з тарілок у разі зупинення роботи колони;
- чутливість тарілок до порушення горизонтальності їхньої установки;
- схильність малих отворів тарілок до засмічення та роз'їдання.

Сучасні дослідження показали, що при раціональній конструкції ситчастої тарілки допустимо коливання навантаження газу до 2–2,5 разів, що в багатьох випадках цілком достатньо. Тільки засмічення і корозія отворів і здатність деяких рідин утворювати стійку піну можуть послужити дійсними причинами відмови від ситчастих тарілок, що залишає все ж таки більш ніж достатнє поле для їх застосування.

Клапанні тарілки в порівнянні з ковпачковими мають більш високу ефективність та на 20–40 % більшу продуктивність. Вони застосовуються для обробки рідин не схильних до смолоутворення та полімеризації, щоб уникнути прилипання клапана до тарілки.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

Провальні решітчасті тарілки мають продуктивність у 1,5–2 рази більшу, ніж ковпачкові тарілки, низьку металоємність. Їхня ефективність досить висока, але у вузькому діапазоні робочих швидкостей. Ці тарілки рекомендується застосовувати при великих навантаженнях колони рідини.

Методика гідравлічного розрахунку (на прикладі ковпачкової тарілки)

Основними вихідними геометричними величинами, що входять до гідравлічного розрахунку тарілки є (рис. 1.3):

1) **Глибина занурення ковпачка a** , яка вимірюється від гідравлічного рівня поверхні рідини до верхнього краю зубців прорізів ковпачка, або до нижнього краю ковпачка, якщо він без зубців та прорізів.

2) **Товщина газового струменя, що виходить з-під ковпачка b** , яка вимірюється між верхнім краєм прорізу або зубців та рівнем поверхні під ковпачком. Відстань між рівнем поверхні під ковпачком та тарілкою є **товщиною пасивного шару c** . Товщина шару рідини на тарілці дорівнює сумі цих величин: $h = a + b + c$.

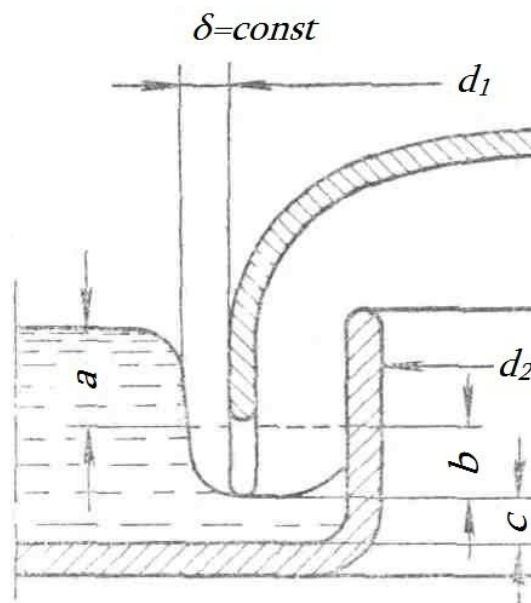


Рисунок 1.3 – Ескіз до гідравлічного розрахунку тарілки

При проектуванні необхідно визначити швидкість газу у вільному перерізі колони W_0 , у момент входу його в рідину W_1 та у перерізі газових патрубків W_2 . Це потрібно тому, що:

- 1) від швидкості газу у вільному перерізі W_0 залежать час контакту, величина бризгоуносу, площа поперечного перерізу апарата і, отже, його діаметр;
- 2) від швидкості газу при вході в рідину W_1 залежить поверхня міжфазового контакту, тобто інтенсивність процесу;
- 3) від швидкості газу в газових патрубках W_2 , через які газ проходить із нижніх тарілок на верхні, залежить опір газовому потоку.

Інтенсивність **барботажу ковпачкової тарілки** визначається величиною питомої витрати газу, що проходиться на одиницю лінії барботажу:

$$U = \frac{V_g}{\Pi}, \quad \text{м}^2 / \text{с}, \quad (1.1)$$

де V_g – кількість газу, що проходить через апарат, $\text{м}^3/\text{с}$;

Π – довжина лінії барботажу, м.

Середня швидкість витікання з-під затоплених отворів складає:

$$W = \mu \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot h \cdot \rho_{ж}}{\rho_2}}, \quad \text{м} / \text{с}, \quad (1.2)$$

де h – висота затоплення, м;

μ – коефіцієнт витрати, рівний 0,67.

Висота затоплення $h = a + b$

Глибина занурення ковпачків у шар береться рівною 30–40 мм. Збільшення глибини занурення від 0 до 40 мм збільшує ККД тарілки. При подальшому збільшенні глибини занурення приблизно 100 мм призводить до

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

виникнення пульсації газового потоку. Оптимальна швидкість входу газу в рідину W_1 у ковпачкових колонах становить 6–8 м/с, але може бути доведена до 10 м/с.

У звичайних колонах, що працюють при атмосферному тиску, швидкість газів або пари у вільному перерізі колони зазвичай беруть до 1 м/с. Велика товщина пасивного шару погіршує роботу тарілки. Для зменшення пасивного шару небажано працювати з малими швидкостями виходу газу з-під ковпачків W_1 та питомим навантаженням U .

Для того, щоб збільшення газового навантаження не призвело до збільшення бризкоуносу, доводиться збільшувати відстань між тарілками H .

Повний гідравлічний опір ковпачкової тарілки:

$$h_t = \Delta P_1 + \Delta P_2, \quad \text{мм.вод.ст.}, \quad (1.3)$$

де ΔP_1 – втрата напору при барботажі;

ΔP_2 – опір газу при його проході через газові патрубки.

Розрахункові залежності визначення величини ΔP_1 :

При $a > 0$ і $b > \delta$

$$\Delta P_1 = \rho_{жс} g \cdot (a + b) + \rho_{жс} g \cdot a \cdot (45b - 1), \quad \text{мм.вод.ст.}, \quad (1.4)$$

При $a > 0$ і $b < \delta$

$$\Delta P_1 = \rho_{жс} g \cdot (a + b), \quad \text{мм.вод.ст.}, \quad (1.5)$$

Тут величина b для зубчастого краю ковпачка з контурами, показаними на рис. 1.4, можна визначити з виразу:

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$b(a+b) = 0.338 \cdot \sqrt{\frac{\rho_z}{\rho_{жс}}} \cdot \frac{U}{f}, \quad (1.6)$$

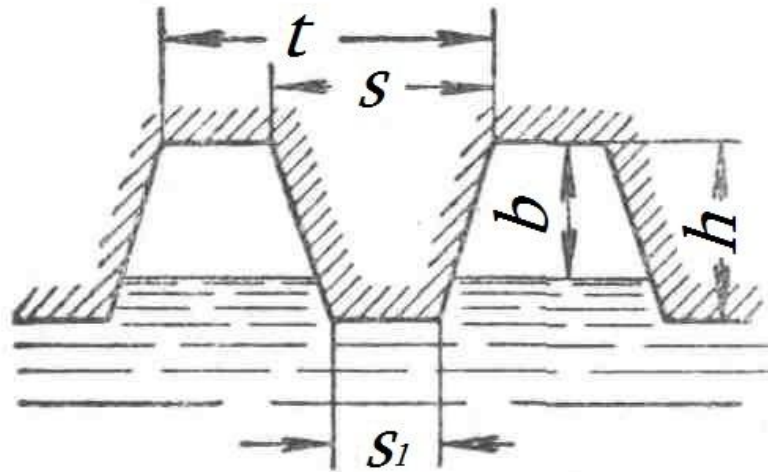


Рисунок 1.4 – Схема до визначення опору тарілки

Коефіцієнт f є відношенням площі поперечного перерізу газового потоку при виході з-під ковпачка до площі, що дорівнює Π , якщо $b < h$, то:

$$f = 1 - \frac{S}{t} + \frac{S - S_1}{2t} \cdot \frac{b}{h}, \quad (1.7)$$

якщо $b > h$, то:

$$f = 1 - \frac{S + S_1}{2t} \cdot \frac{b}{h}, \quad (1.8)$$

Величина δ – це відношення глибини занурення a до ширини струменя газу, що оточує ковпачок (рис. 1.3), яка за експериментальними даними при нормальних навантаженнях є величиною постійною, і дорівнює $\delta = 0,02 = const$.

Залежність для визначення величини ΔP_2 дуже проста:

$$\Delta P_2 = \xi \cdot \rho_2 \cdot \frac{W_2^2}{2}, \quad (1.9)$$

де ξ – коефіцієнт опору, що залежить від форми та розмірів ковпачка, рівний 2...2,8;

W_2 – швидкість газу в патрубках:

$$W_2 = \frac{4V_2}{n \cdot \pi \cdot d_2^2}, \quad (1.10)$$

де d_2 – внутрішній діаметр газового патрубка;

n – кількість ковпачків на тарілці.

Переріз газових патрубків визначається за умови рівності швидкостей газу в патрубку та під ковпачком. Із цієї умови отримаємо: $d_2 = 0,7 d_1$, тобто 0,7 діаметра ковпачка.

Висота газових патрубків робиться на 15–20 мм вище за верхній край водозливу або переточної труби. Швидкість W_2 має перевищувати 10–12 м/с. Краще її приймати рівною 7...8 м/с.

Відстань між ковпачками береться такою, щоб можливий більший обсяг рідини був пронизаний бульбашками газу. Вважається, що при швидкості газу, що виходить з-під ковпачків, 6...8 м/с він має дорівнювати 20...40 мм. У разі збільшення швидкості газу відстань між ковпачками пропорційно збільшують.

Висота шару рідини на тарілці визначається заввишки переливу. Переливом може бути край переточних труб, або може бути встановлений спеціальний перелив. Висота шару біля переливу дорівнює

$$h = h_c + h_{II}, \quad (1.11)$$

де h_c – висота шару, м;

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16

h_{II} – висота шару рідини над переливом, м.

Значення висоти шару рідини над переливом можна визначити за формулою:

$$h_{II} = \sqrt[3]{\frac{V_{ж}}{3600^2 \cdot l^2 \cdot 2\mu g}}, \text{ м}, \quad (1.12)$$

де l – довжина водозливу, м.

Перебіг рідини по тарілці відбувається за рахунок різниці рівнів у місць введення її на тарілку і біля переливу, причому цей перепад витрачається на подолання тертя рідини деталі тарілки. Величина цього перепаду може бути порахована за рівнянням:

$$\Delta h = \frac{f_{тр} \cdot V_{ж} \cdot L}{2g \cdot \Pi_c^2 \cdot r^2}, \text{ м}, \quad (1.13)$$

де $f_{тр}$ – коефіцієнт тертя, що залежить від Re ;

L – довжина шляху рідини по тарілці, м;

r – гідравлічний радіус, м.

Гідравлічні затвори барботажних апаратів повинні забезпечувати безперешкодне перетікання рідини по переточних трубах з однієї тарілки на іншу і не пропускати газ чи пару.

Глибина затвору h_3 повинна задовольняти умову:

$$h_3 = \frac{h_T}{\rho_{ж} \cdot g}, \text{ м} \quad (1.14)$$

де h_T – опір вищележачої тарілки, мм.вод.ст.;

$\rho_{ж}$ – густина рідини, кг/м^3 .

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

На даний час не існує теоретичних моделей масопередачі, які ґрунтуються на точних, надійно перевірених досвідом гідродинамічних закономірностях. Основною причиною цього слід вважати складність і недостатню вивченість турбулентного руху.

Зважаючи на складність механізму процесів масовіддачі у фазах, для практичних цілей приймають, що швидкість масовіддачі пропорційна рушійній силі, яка дорівнює різниці концентрацій в ядрі і на кордоні фази або (у разі зворотного напрямку перенесення) – різниці концентрацій на кордоні і в ядрі фази.

Відповідно, якщо розподілювана речовина переходить із фази Φ_Y в фазу Φ_X , то основне рівняння масовіддачі, яке визначає кількість M речовини, що переноситься в одиницю часу в кожній із фаз (до кордону фази або у зворотному напрямку), виражається у такий спосіб:

фаза Φ_Y

$$M = \beta_y \cdot F \cdot (\bar{y} - \bar{y}_{ГР}) \quad (1.15)$$

фаза Φ_X

$$M = \beta_x \cdot F \cdot (\bar{x}_{ГР} - \bar{x}) \quad (1.16)$$

Різниці концентрацій $\bar{y} - \bar{y}_{ГР}$ і $\bar{x}_{ГР} - \bar{x}$, які входять у ці рівняння являють собою рушійну силу процесу масовіддачі відповідно у фазах Φ_Y і Φ_X , причому \bar{y} і \bar{x} – середні концентрації в основній масі (ядрі) кожної із фаз, $\bar{y}_{ГР}$ і $\bar{x}_{ГР}$ – концентрації біля кордону відповідної фази.

Коефіцієнти пропорційності β_x і β_y називають коефіцієнтами масовіддачі.

Матеріальний баланс ректифікаціної колони за потоками:

$$G_F = G_D + G_W; \quad (1.17)$$

Матеріальний баланс ректифікаційної колони за легколетким компонентом:

$$G_F \cdot x_F = G_D \cdot x_D + G_W \cdot x_W, \quad (1.18)$$

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

x_F , x_D , x_W – вміст легколетучого компонента в живленні, дистилляті і кубовому залишку відповідно.

Прихід тепла: із теплоносієм в кип'ятильнику Q_K ; із вихідною сумішшю Q_F ; з флегмою Q_Φ .

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

Таким чином, рівняння теплового балансу приймає вигляд:

$$Q_K + Q_F + Q_\Phi = Q_G + Q_W + Q_{ВТР}. \quad (1.19)$$

1.3 Опис проектованої колони та вибір конструкційних матеріалів

Барботажні колони є найпоширенішим типом колонних апаратів. Робочий простір барботажних колон розділений на кілька камер тарілками. На кожній тарілці підтримується шар рідини. Послідовно через шари рідини, число яких дорівнює числу тарілок, пробулькує газ або пара.

Об'єктом нашої розробки є тарілчаста ректифікаційна колона з ситчастими тарілками (рис. 1.5). Вона являє собою вертикальний циліндричний апарат із привареним днищем. Кришка кріпиться за допомогою фланцевого з'єднання. За конструкцією це вертикальний циліндричний апарат, до якого приварені днище і кришка відповідно.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

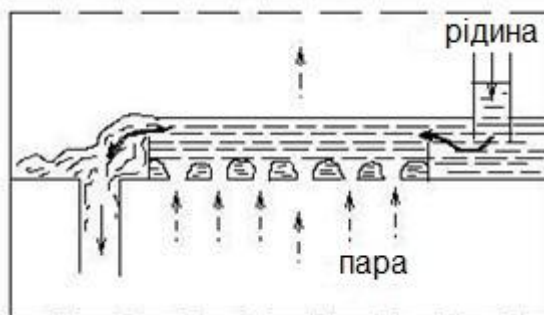


Рисунок 1.6 – Схема роботи ситчастої тарілки

Принцип роботи колони полягає у наступному. Пара, що утворилася у випарнику, повертається під нижню тарілку колони, тим самим забезпечуючи її паровим зрошенням. Унизу колони температура майже дорівнює температурі кипіння толуолу.

Попередньо нагріта до кипіння вихідна суміш подається на тарілку живлення колони, яка ділить колону на дві частини: нижню (вичерпну) і верхню (зміцнюючу). Вихідна суміш із живильної тарілки стікає на нижче розташовані, взаємодіючи на своєму шляху з паром, що рухається від низу до верху по колоні. У результаті такої взаємодії пара збагачується бензолом, а стікаюча вниз рідина, навпаки, збіднюється цим компонентом, а збагачується толуолом. У нижній частині колони йде процес вичерпання легколеткого компоненту із вихідної суміші.

Для збереження високої чистоти розділюваних компонентів, необхідно здійснювати рідинне зрошення верхньої частини колони. Утворений дистилат ділиться на два потоки: один у вигляді продукту спрямовується на подальше охолодження і на склад готової продукції, а інший повертається назад у колону в якості флегми. На верхній тарілці колони температура майже дорівнює температурі кипіння бензолу.

На колоні також передбачені технологічні штуцери для обв'язки апарату технологічними трубопроводами та підключення до загальної технологічної

лінії. Також до корпусу колони знизу приварена циліндрична опора, яка забезпечена лапами і кріпиться до фундаменту.

У хімічній промисловості умови роботи апаратів характеризуються широким діапазоном температур – приблизно від мінус 254 до плюс 2500°C при тисках від 0,015 Па до 600 МПа при агресивному впливі середовищ [6].

Основними вимогами, яким повинні відповідати хімічні апарати, є механічна надійність, довговічність, конструктивні досконалість, простота виготовлення, зручність транспортування, монтажу, експлуатації тощо [6–8].

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 – листовая сталь. Характеризується підвищеною міцністю і ударною в'язкістю в інтервалі температур від мінус 70 до плюс 475°C. 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 відпускнуї 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

Для усіх інших деталей використана конструкційна легована сталь 35Х.

У якості прокладкового матеріалу (для ущільнення з'єднань) використовуємо пароніт ПОН-1 – це листовий матеріал, виготовлений пресуванням азбокаучукової маси, що складається із азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>		<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			23

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ ТА АПАРАТУ

2.1 Технологічні розрахунки

Технологічні розрахунки виконуємо у відповідності до методики, що представлена у джерелі [9].

Матеріальний баланс ректифікаційної колони за потоками:

$$G_f = G_D + G_W; \quad (2.1)$$

Матеріальний баланс ректифікаційної колони за легколетким компонентом:

$$G_f \cdot \bar{x}_f = G_D \cdot \bar{x}_D + G_W \cdot \bar{x}_W; \quad (2.2)$$

Спільне розв'язання рівнянь (2.1) і (2.2) дозволяє отримати залежність для визначення масових витрат дистилляту і кубового залишку:

$$G_D = G_f \cdot \frac{\bar{x}_f - \bar{x}_W}{\bar{x}_D - \bar{x}_W}; \quad (2.3)$$

$$G_D = \frac{4000}{3600} \cdot \frac{0,26 - 0,045}{0,940 - 0,045} = 0,28 \text{ кг/с.}$$

$$G_W = G_f \cdot \frac{\bar{x}_D - \bar{x}_f}{\bar{x}_D - \bar{x}_W}; \quad (2.4)$$

$$G_W = \frac{4000}{3600} \cdot \frac{0,940 - 0,26}{0,940 - 0,045} = 0,83 \text{ кг/с.}$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

Будуємо рівноважну криву в координатах $y - x$ (див. Додаток Б).

Визначаємо мінімальне флегмове число за рівнянням:

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_f^*}{y_f^* - x_f}; \quad (2.5)$$

де y_f^* – склад пари, яка перебуває в рівновазі з вихідної сумішшю;
 $y_f^* = 0,485$ – визначається з кривої рівноваги.

$$R_{\min} = \frac{0,94 - 0,485}{0,485 - 0,26} = 2,09$$

Визначаємо оптимальне флегмове число R при $\beta = 1,47$:

$$R = \beta \cdot R_{\min} = 1,47 \cdot 2,09 = 3,075 \quad (2.6)$$

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

$$G_R = R \cdot G_D; \quad (2.7)$$

$$G_R = 3,075 \cdot 0,28 = 0,861 \text{ кг/с.}$$

$$G_V = (R + 1) \cdot G_D; \quad (2.8)$$

$$G_V = (3,075 + 1) \cdot 0,28 = 1,141 \text{ кг/с.}$$

Робочі лінії процесу визначаються рівняннями:

– для верхньої частини колони:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.9)$$

– для нижньої частини колони:

$$y = \frac{F+R}{R+1} \cdot x - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W, \quad (2.10)$$

де F – число живлення, що визначається за формулою:

$$F = \frac{G_F}{G_D} \cdot \frac{M_D}{M_F}; \quad (2.11)$$

$$F = \frac{1,11}{0,28} \cdot \frac{78,8}{87,8} = 3,6.$$

Ордината точки А (див. додаток А), в якій перетинаються робочі лінії, визначається за рівнянням (2.10) і (2.11) 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.

										XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							26

Середні молярні концентрації рідини визначаються за середньоарифметичними залежностями:

– у верхній частині колони:

$$x'_{cp} = \frac{(x_f + x_D)}{2}; \quad (2.12)$$

– у нижній частині колони:

$$x''_{cp} = \frac{(x_f + x_W)}{2}; \quad (2.13)$$

$$x'_{cp} = \frac{(0,30 + 0,94)}{2} = 0,62;$$

$$x''_{cp} = \frac{(0,30 + 0,05)}{2} = 0,175.$$

Середні молярні концентрації парової фази визначаються за рівняннями робочих ліній:

– у верхній частині колони:

$$y'_{cp} = \frac{R}{R+1} \cdot x'_{cp} + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.14)$$

– у нижній частині колони:

$$y''_{cp} = \frac{F+R}{R+1} \cdot x''_{cp} - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W; \quad (2.15)$$

$$y'_{cp} = \frac{3,075}{3,075+1} \cdot 0,62 + \frac{0,94}{3,075+1} = 0,70;$$

$$y''_{cp} = \frac{3,6+3,075}{3,075+1} \cdot 0,175 - \frac{3,6-1}{3,075+1} \cdot 0,05 = 0,25.$$

Середня молярна маса парів розраховується за формулами:

– у верхній частині колони:

$$M'_{cp} = y'_{cp} \cdot M_{лк} + (1 - y'_{cp}) \cdot M_{тлк}; \quad (2.16)$$

– у нижній частині колони:

$$M''_{cp} = y''_{cp} \cdot M_{лк} + (1 - y''_{cp}) \cdot M_{тлк}; \quad (2.17)$$

$$M'_{cp} = 0,70 \cdot 78 + (1 - 0,70) \cdot 92 = 82,2 \text{ кг/кмоль}$$

$$M''_{cp} = 0,25 \cdot 78 + (1 - 0,25) \cdot 92 = 88,5 \text{ кг/кмоль}$$

Середні густини парів визначаються за рівнянням Клайперона:

– у верхній частині колони:

$$\rho'_y = \frac{M'_{cp} \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t'_y)}; \quad (2.18)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho''_y = \frac{M''_{cp} \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t''_y)}; \quad (2.19)$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

де $t'_y = 90^\circ\text{C}$ – середня температура пари у верхній частині колони в залежності від концентрації y'_{cp} (визначається за діаграмою [10]);

$t''_y = 105^\circ\text{C}$ – середня температура пара в нижній частині колони в залежності від концентрації y''_{cp} (визначається по діаграмі [10]).

$$\rho'_y = \frac{82,2 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 90)} = 2,76 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho''_y = \frac{88,5 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 105)} = 2,85 \text{ кг/м}^3.$$

Середні густини рідини знаходяться за правилом адитивності:

– у верхній частині колони:

$$\rho'_x = x'_{\text{cp}} \cdot \rho'_{\text{ллк}} + (1 - x'_{\text{cp}}) \cdot \rho'_{\text{млк}}; \quad (2.20)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho''_x = x''_{\text{cp}} \cdot \rho''_{\text{ллк}} + (1 - x''_{\text{cp}}) \cdot \rho''_{\text{млк}}; \quad (2.21)$$

де $\rho'_{\text{ллк}}$, $\rho''_{\text{ллк}}$, $\rho'_{\text{млк}}$, $\rho''_{\text{млк}}$ – густини рідини легколеткого і труднолеткого компонентів при температурах t'_x , t''_x ;

$\rho'_{\text{ллк}} = 805 \text{ кг/м}^3$; $\rho'_{\text{млк}} = 800 \text{ кг/м}^3$ при температурі $t'_x = 87^\circ\text{C}$ [10];

$t'_x = 87^\circ\text{C}$ – середня температура рідини у верхній частині колони в залежності від концентрації x'_{cp} ;

$\rho''_{\text{ллк}} = 790 \text{ кг/м}^3$; $\rho''_{\text{млк}} = 785 \text{ кг/м}^3$ при температурі $t''_x = 102^\circ\text{C}$ [10];

$t''_x = 102^\circ\text{C}$ – середня температура рідини в нижній частині колони в залежності від концентрації x''_{cp} .

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

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

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

Середні в'язкості рідини обчислюються за формулами:

– у верхній частині колони:

$$\lg \mu'_x = x'_{cp} \cdot \lg \mu'_{ллк} + (1 - x'_{cp}) \cdot \lg \mu'_{млк}; \quad (2.22)$$

– у нижній частині колони:

$$\lg \mu''_x = x''_{cp} \cdot \lg \mu''_{ллк} + (1 - x''_{cp}) \cdot \lg \mu''_{млк}; \quad (2.23)$$

де $\mu'_{ллк}$, $\mu''_{ллк}$, $\mu'_{млк}$, $\mu''_{млк}$ – в'язкості рідких легколеткого і труднолеткого компонентів при температурах t'_x і t''_x .

$$\mu'_{ллк} = 0,295 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}, \quad \mu'_{млк} = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu''_{ллк} = 0,26 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}, \quad \mu''_{млк} = 0,27 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu'_x = 0,000293 \text{ Па}\cdot\text{с}, \quad \mu''_x = 0,000268 \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Теплове навантаження кип'ятильника визначається за формулою:

$$Q_W = G_V \cdot r_w = G_V \cdot (r_{ллк} \cdot \bar{x}_w + r_{млк} (1 - \bar{x}_w)); \quad (2.24)$$

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

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Q_W = \frac{4071}{3600} \cdot (379,2 \cdot 0,045 + 390,1 \cdot (1 - 0,045)) = 440 \text{ кВт.}$$

Витрата гріючої пари у кип'ятильнику визначається за формулою:

$$G_{z.n} = Q_W / r_{z.n}, \quad (2.25)$$

де $r_{z.n} = 2250$ кДж/кг – питома теплота випаровування гріючої пари [10].

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

Теплове навантаження дефлегматора розраховується за формулою:

$$Q_D = G_V \cdot r_d = G_V \cdot (r_{лк} \cdot \bar{x}_D + r_{млк} \cdot (1 - \bar{x}_D)); \quad (2.26)$$

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

Витрата води в дефлегматорі визначається за формулою:

$$G_6 = \frac{Q_D}{C_6 \cdot (t_{кв} - t_{не})}, \quad (2.27)$$

де $C_6 = 4,2$ кДж/кг·К – питома теплоємність охолоджуючої води [10].

$$G_6 = \frac{430}{4,2 \cdot 20} = 5,1 \text{ кг/с.}$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

2.2 Конструктивні розрахунки

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

$$\omega' = (0,75 \div 0,9) \cdot \omega_{np}; \quad (2.28)$$

де ω_{np} – швидкість газу, що відповідає точці захлинання.

$$\omega_{np} = c \cdot \sqrt{\frac{\rho_p - \rho_n}{\rho_n}}; \quad (2.29)$$

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

Гранична швидкість парів:

– для верхньої частини колони

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

– для нижньої частини колони

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

Робоча швидкість парів:

– для верхньої частини колони

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

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

– для нижньої частини колони

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

Відношення масових витрат рідкої і парової фаз дорівнює [9]:

– у верхній частині колони:

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{G_R}{G_V} = \frac{R}{R+1}; \quad (2.30)$$

– у нижній частині колони:

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{G_R + G_f}{G_V} = \frac{R + F}{R + 1}; \quad (2.31)$$

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

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

Об'ємна витрата парів дорівнює:

– у верхній частині колони

$$V' = \frac{G_V}{\rho'_y}; \quad (2.32)$$

– у нижній частині колони

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

$$V'' = \frac{G_V}{\rho_y''}; \quad (2.33)$$

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

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

Діаметр колони розраховується за формулою [9]:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega}}; \quad (2.34)$$

– 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 зі стандартного ряду $D_k=1000$ мм.

Дійсні робочі швидкості пари в колоні дорівнюють:

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

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

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

У результаті побудови горизонтальних і вертикальних відрізків між робочою та рівноважною лініями (див. Додаток А) отримуємо наступне число теоретичних тарілок: у верхній частині $N'_m = 8$ шт.; у нижній частині $N''_m = 6$ шт.

Число дійсних тарілок можна визначити за допомогою середнього к.к.д. тарілки [9]:

$$N_d = N_T / \eta; \quad (2.35)$$

де η – к.к.д. тарілки; за графіком [11] знаходимо $\eta' = 0,5$; $\eta'' = 0,46$.

Число тарілок:

– у верхній частині колони

$$N_d = 8 / 0,5 = 16 \text{ шт.}$$

– у нижній частині колони

$$N_d = 6 / 0,46 = 13 \text{ шт.}$$

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

$$H_T = (N_d - 1) \cdot H, \quad (2.36)$$

де $N_d = 29$ – загальна кількість тарілок;

$H = 0,4$ м – відстань між тарілками.

$$H_T = (29 - 1) \cdot 0,4 = 11,2 \text{ м.}$$

Діаметр патрубку визначається за формулою [9]:

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

$$D = \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot 3600 \cdot 0.785 \cdot \omega}}; \quad (2.37)$$

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:

$$d_v = \sqrt{\frac{4071}{3600 \cdot 2,85 \cdot 0,785 \cdot 15}} = 0,184 \text{ м}$$

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.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

2.3 Гідравлічні розрахунки

Гідравлічний розрахунок проводимо у відповідності до методики [11].

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

$$\Delta p_{\text{заг}} = \Delta p_{\text{сух}} + \Delta p_{\sigma} + \Delta p_{\text{пр}}, \text{ Па} \quad (2.38)$$

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

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

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

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{\text{сух}} = \xi \cdot \frac{\rho_n \cdot \omega_{\text{отв}}^2}{2}, \quad (2.39)$$

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

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

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$\omega_{\text{отв}} = \frac{w}{F}, \quad (2.40)$$

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

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

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot \sigma}{d_0}; \quad (2.41)$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

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

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

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

Опір парорідинного шару на тарілці:

$$\Delta p_{np} = 1,3 \cdot h_{np} \cdot \rho_{np} \cdot g \cdot k, \text{ Па} \quad (2.42)$$

де h_{np} – висота парорідинного шару, м.

$$h_{np} = h_n + \Delta h, \text{ м} \quad (2.43)$$

де h_n – висота зливної перегородки, м;

Δh – висота шару над зливною перегородкою, м.

$$\Delta h = \left(\frac{V_p}{1,85 \cdot \Pi \cdot k} \right)^{\frac{2}{3}}, \text{ м} \quad (2.44)$$

де V_p – об'ємна витрата рідини, м³/с;

Π – периметр зливної перегородки, м;

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

Об'ємна витрата рідини:

$$V_p = \frac{G_D \cdot R \cdot M_{cp}}{M_D \cdot \rho_p} \quad (2.45)$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

де R – флегмове число;

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

Периметр зливної перегородки знаходимо, розв'язуючи систему рівнянь:

$$\begin{cases} \left(\frac{\Pi}{2}\right)^2 + (R-b)^2 = R^2 \\ 0,1 \cdot \pi \cdot R^2 = \frac{2}{3} \cdot \Pi \cdot b \end{cases} \quad (2.46)$$

де $R=0,5$ м – радіус тарілки;

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

Умова нормальної роботи тарілок:

$$H_m > 1,8 \cdot \frac{\Delta p}{\rho_p \cdot g} \quad (2.47)$$

де H – міжтарілчаста відстань, м.

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

$$w_{o. \min} = 0,67 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \rho_p \cdot h_{np}}{\xi \cdot \rho_n}}, \quad (2.48)$$

Верхня частина колони. Швидкість пари в отворах тарілки:

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

										XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							39

Гідравлічний опір сухої тарілки:

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

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: $\Pi=0,73$ 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:

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

Опір пароріднинного шару на тарілці:

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

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

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:

$$\Delta p' = \Delta p'_{заг} \cdot N'_{\partial}, \quad (2.49)$$

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

Нижня частина колони. Швидкість пари в отворах тарілки:

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

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:

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

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

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

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:

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

Опір пароріднинного шару на тарілці:

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

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:

$$\Delta p'' = \Delta p''_{заг} \cdot N''_{\partial}, \quad (2.50)$$

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

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

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

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

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

Перевіримо рівномірність роботи тарілок:

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

$9,9 \text{ м/с} > 6,59 \text{ м/с}$ – отже, тарілки працюватимуть усіма отворами.

Загальний гідравлічний опір колони:

$$\Delta p = \Delta p' + \Delta p''; \quad (2.51)$$

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

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 $w = 2$ м/с.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.52)$$

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

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$V = \frac{1,11}{800} = 1,39 \cdot 10^{-3} \frac{M^3}{c};$$

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

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 32 мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}, \quad (2.53)$$

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

тобто режим турбулентний. Абсолютну шорсткість трубопроводу приймаємо

$$\Delta = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

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

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

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

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}, \quad (2.54)$$

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

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

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 $\xi_4 = 1$.

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

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

Втрати напору у всмоктуючій лінії знаходимо за рівнянням:

$$h_{II.BC.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} , \quad (2.55)$$

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

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

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

Втрата напору в напірній лінії:

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

Загальні втрати напору:

$$h_{\text{П}} = h_{\text{П.ВС.}} + h_{\text{П.НАП.}}; \quad (2.56)$$

$$h_{\text{П}} = 1,1 + 3,0 = 4,1 \text{ м.}$$

Знаходимо напір насосу за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_{\text{ж}} \cdot g} + H_{\text{Г}} + h_{\text{П}}, \quad (2.57)$$

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;

$H_{\text{Г}}$ – геометрична висота піднімання рідини.

$$H = 5 + 4,1 = 9,1 \text{ м.}$$

Корисну потужність насосу визначаємо за рівнянням:

$$N_{\text{П}} = \rho_p \cdot g \cdot V \cdot H, \quad (2.58)$$

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

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

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

$$N = \frac{N_{II}}{\eta_{пер} \cdot \eta_n}, \quad (2.59)$$

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

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

Вибираємо відцентровий насос марки НМШ 8-25-8,5/25-5 із наступними параметрами: об'ємна подача насосу 8,5 м³/год.; напір насосу 25 м; потужність, яку потребує насосом 7,5 кВт; частота обертів 1450 об/хв.

Розрахунок і вибір ємності для вихідної суміші [9]. Ємність для зберігання вихідної суміші розраховуємо, виходячи з 6–8 годинного резерву робочого часу, а також з урахуванням коефіцієнту заповнення $\psi = 0,8 \dots 0,85$. Приймаємо $\psi = 0,82$.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}; \quad (2.60)$$

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

Заданося діаметром ємності $D = 3,6$ м, тоді її висота буде становити:

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (2.61)$$

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

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		48

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНКИ АПАРАТА НА МІЦНІСТЬ

3.1 Розрахунок товщини стінок корпусу апарата та днища

Основні розрахункові параметри: робоча температура середовища $t=105^{\circ}\text{C}$; робочу температуру стінки приймаємо на 5°C меншою: $t=100^{\circ}\text{C}$; робочий тиск в апараті $P = 0,1$ МПа.

Розрахунковий тиск для апаратів з робочим надлишковим тиском $P > 0,07$ 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:

$$P_{np} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 P_p [\sigma]_{20} / [\sigma] \\ P_p + 0,3 \end{array} \right\}, \quad (3.2)$$

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

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

$$P_{np} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot 0,25 \cdot 140 / 132 \\ 0,25 + 0,3 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,43 \\ 0,55 \end{array} \right\} = 0,55 \text{ МПа.}$$

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

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

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Коефіцієнт проточності зварного шва, згідно [13], складе: $\varphi=0,9$.

Товщина стінки циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском:

$$S_k = \frac{P_{np} \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P_{np}}, \quad (3.3)$$

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

Виконавча товщина стінки:

$$S \geq S_k + C, \quad (3.4)$$

де C – 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 $\Pi = 0,1$ мм/рік та терміні служби колони $\tau = 15$ років складе

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

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

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

$$C = 1,5 + 0 + 0 = 1,5 \text{ мм.}$$

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

Приймаємо $S=0,004 \text{ м} = 4 \text{ мм.}$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

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

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

Умова міцності має вигляд:

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

Умова міцності виконується.

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

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

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

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

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

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 $S=0,004 \text{ м} = 4 \text{ мм}$.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

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

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

що більше пробного, а отже, умова міцності виконується.

3.2 Розрахунок опори апарата

Визначимо навантаження порожнього апарату на опору по формулі:

$$Q_{an} = M_{an} \cdot g; \quad (3.9)$$

де M_{an} – маса порожнього апарата;

$$M_{an} = M_k + M_{дн} + M_{кр} + M_m + M_{фл}, \quad (3.10)$$

де M_k , $M_{дн}$, $M_{кр}$, M_m , $M_{фл}$ – відповідно маси корпусу, днища, кришки, тарілок, фланців і арматури:

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

$$M_{\kappa} = H \cdot \pi \cdot D \cdot s \cdot \rho, \quad (3.11)$$

де ρ – щільність матеріалу корпусу $\rho=7800$ кг/м³;

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

$$M_{\text{дн}} = M_{\text{кр}} = F \cdot s \cdot \rho, \quad (3.12)$$

де F – площа внутрішньої поверхні еліптичного днища (кришки)
 $F=1,16$ м²;

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

Маса тарілок:

$$M_m = N \cdot m_m, \quad (3.13)$$

де $m_m = 41,5$ кг – маса однієї тарілки.

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

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

Маса порожнього апарата:

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

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

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

Навантаження апарату на опору під час гідравлічних випробувань:

$$Q_{an}^u = (M_{an} + M_{\epsilon}) \cdot g, \quad (3.14)$$

де M_{ϵ} – маса залитої в апарат води.

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

де V – об'єм апарату

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

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

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

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

РОЗДІЛ 4 МОНТАЖНІ ТА РЕМОНТНІ РОБОТИ

4.1 Монтаж апарата [14]

Монтаж – це комплекс заходів, коли підбирається та з'єднує в одне ціле різні частини чогось. У нашому випадку таким об'єктом є тарілчаста ректифікаційна колона. При монтажі повністю зібраного апарата спочатку апарат збирається із блоків, а потім приварюється опора. Частини апарата, що стикуються, підтягують один до одного трубоукладачами або тракторами. Для збігу стиків по всьому периметру до кромки однією зі стикуючих частин приварюють вісім і більше напрямних планок, які після прихватки стику короткими звареними швами зрізають газокисневим різанням. Стиковку роблять за заводськими контрольними рисками, нанесеними на корпусах. Відхилення розмірів ділянок, що стикуються, повинні бути в межах допустимих норм: зміщення кромки в кільцевих швах не повинно перевищувати 10 % товщини листа апарата, а у разі двошарової сталі повинно бути не більше товщини шару.

У зварюваних стиках ретельно контролюють зазори, які повинні бути в межах 2–4 мм незалежно від товщини листів обичайок. Кромки зварювальних частин ретельно очищають металевими щітками. Прихватку, як і повне зварювання, виконують електродами, передбаченими проектом. Стики, що виконані з двошарової сталі, прихоплюють на основному шарі. Технологія зварювання (спосіб і режим зварювання, порядок накладення швів і термооброблення) наводиться в проектній документації заводу-виготовлювача.

Ділянка території, де проводиться зварювання, повинна бути захищена від атмосферних опадів та вітру для запобігання забруднення шва. Бажано зварювання виконувати на роликовому стенді, на рамі якого встановлюють один або два зварювальних автомати. Для зварювання внутрішнього шва один

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

автомат розміщують всередині апарату. Після завершення зварювання остаточно перевіряють всі розміри зібраного апарату, які повинні бути в межах допусків. Корпуси відповідальних колонних апаратів повинні відповідати таким вимогам: відхилення довжини не повинно перевищувати 0,3 % від проектного; кривизна циліндра на ділянці 1 м повинна бути не більше 2 мм, а для апаратів вище 10 м – не більше 3 мм.

Тарілка – контактний пристрій в колонній апаратурі, поверхня контакту фаз в яких утворюється в процесі руху взаємодіючих потоків по поверхні тарілки. Спосіб монтажу ректифікаційних тарілок залежить від їх конструкції і технологічного призначення. Їх можна збирати при вертикальному (робочому) і горизонтальному положенні колони. Другий спосіб дозволяє скоротити загальну тривалість монтажних робіт, але пов'язаний із застосуванням пристосувань великої вантажопідйомності для підйому апарата.

При горизонтальному положенні апарата тарілки встановлюють строго вертикально; їх положення перевіряють по схилу, що накладають на декількох точках, і по заздалегідь нанесеним на внутрішніх стінках апарату мітках, для чого апарат доводиться повертати навколо осі на 90°.

Значно легше забезпечити строго горизонтальне положення тарілок в уже встановленому, вивіреному і закріпленому на фундаменті корпусі апарата. У цьому випадку достатньої точності добиваються або за допомогою рівня, або заливаючи на поверхню тарілки воду.

Збірку тарілок починають з приварки до внутрішньої стінки корпусу колони опорних (несучих) елементів і нероз'ємних деталей (карманів, зливів, дисків, глухих сегментів). Зварювання проводять у відповідності до технічних умов, і з огляду на те, що при роботі колони важко визначити окремі дефекти зварювання. Після складання всіх елементів кожна тарілка перевіряється на барботаж.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		56

4.2 Ремонт апарата [14, 15]

Ремонт апарата починають із його відкриття, 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 відкриття 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.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

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.

Після ремонту ректифікаційну колону піддають гідравлічним або пневматичним випробовуванням.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Причини виробничого травматизму, методи його аналізу, показники травматизму.

Велику роль у запобіганні травматизму має аналіз і, головне, своєчасне доведення його результатів до всіх структурних підрозділів та всіх працівників.

При проведенні аналізу травматизму ставляться такі завдання: виявлення причин нещасних випадків; виявлення характеру і повтору нещасних випадків; визначення найнебезпечніших видів робіт та процесів; виявлення факторів, характерних щодо травматизму на даному робочому місці, у цеху, підрозділі; виявлення загальних тенденцій, характерних щодо травматизму на даному робочому місці, у цеху, підрозділі [16].

Причини виробничого травматизму і професійної захворюваності прийнято поділяти на наступні основні групи: організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні, психофізіологічні.

Організаційні причини: відсутність або неякісне проведення навчання з питань охорони праці; відсутність контролю; порушення вимог інструкцій, правил, норм, стандартів; невиконання заходів щодо охорони праці; порушення технологічних регламентів, правил експлуатації устаткування, транспортних засобів, інструменту; порушення норм і правил планово-попереджувального ремонту устаткування; недостатній технічний нагляд за небезпечними роботами; використання устаткування та інструменту не за призначенням.

Технічні причини: невідповідність вимогам безпеки або несправність виробничого устаткування, механізмів, інструменту; недосконалість технологічних процесів; конструктивні недоліки устаткування, недосконалість або відсутність захисних загороджень, запобіжних пристроїв, засобів сигналізації та блокування.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		59

Санітарно-гігієнічні причини: підвищений вміст у повітрі робочих зон шкідливих речовин; недостатнє чи нераціональне освітлення; підвищені рівні шуму, вібрації, інфра- та ультразвуку; незадовільні мікрокліматичні умови; наявність різноманітних випромінювань вище допустимих значень; порушення правил особистої гігієни тощо.

Психофізіологічні причини: помилкові дії внаслідок втоми працівника через надмірну важкість і напруженість роботи; монотонність праці; хворобливий стан працівника; необережність; невідповідність психофізіологічних чи антропометричних даних працівника використовуваній техніці чи виконуваній роботі.

Методи аналізу виробничого травматизму

Статистичний метод ґрунтується на аналізі статистичного матеріалу з травматизму, накопиченого на підприємстві або в галузі за кілька років. Відповідні дані для цього аналізу містяться в актах за формою Н-1, в звітах за формою 7-НТВ. Статистичний метод дозволяє всі нещасні випадки і причини травматизму групувати за статтю, віком, професіями, стажем роботи потерпілих, часом, місцем, типом нещасних випадків, характером одержаних травм, видом обладнання. Цей метод дозволяє встановити за окремими підприємствами найпоширеніші види травм, визначити причини, які спричиняють найбільшу кількість нещасних випадків, виявити небезпечні місця, розробити і провести необхідні організаційно-технічні заходи. Для цього розраховують ряд коефіцієнтів.

Коефіцієнт частоти травматизму – це число травм на 1000 чоловік усього складу працюючих за проаналізований період:

$$K_v = T \cdot 10 / N, \quad (5.1)$$

де T – кількість травмованих за проаналізований період;
 N – середньоспискова кількість працюючих.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

Згідно із рішенням X Міжнародної конференції статистів рекомендовано за основний показник травматизму приймати коефіцієнт частоти травматизму на 10 відпрацьованих людино-годин, тобто:

$$K_v = T \cdot 10 / n, \quad (5.2)$$

де n – фактичне число відпрацьованих людино-годин за проаналізований період.

Коефіцієнт тяжкості травматизму – середній термін непрацездатності, що припадає на один нещасний випадок:

$$K_T = D / T, \quad (5.3)$$

де D – загальне число днів непрацездатності за проаналізований період.

Показник частоти захворюваності визначають як число випадків на 100 працюючих:

$$K_z = 3 \cdot 100 / N, \quad (5.4)$$

де 3 – число захворювань за проаналізований період.

Аналогічно визначають **тяжкість захворювань**:

$$K_{Tz} = D / 3, \quad (5.5)$$

де D – загальне число днів непрацездатності.

Коефіцієнт, який враховує стійку втрату працездатності та загибель людей є коефіцієнт нещасних випадків із смертельним наслідком та каліцтвом:

$$K_{ck} = n_{ck} / n \cdot 100\%, \quad (5.6)$$

де n_{ck} - кількість нещасних випадків, що призвели до смерті і каліцтва.
 n - загальна кількість нещасних випадків.

Вищенаведені показники, дозволяють вивчати динаміку травматизму на підприємстві, в галузі, регіоні тощо, порівнювати ці показники, робити певні

висновки, застосовувати організаційні заходи, спрямовані на профілактику травматизму.

У разі використання групового методу аналізу акти за формою Н-1 групують за певною ознакою: за віком, статтю, стажем роботи, видом обладнання, часу доби тощо. Так встановлено, що частота травматизму жінок дещо менша ніж чоловіків, що працюють в однакових умовах; після вихідних і святкових днів частота травматизму збільшується. Якщо аналізувати залежність травматизму від часу доби, то здебільшого час травмування припадає на 3–5 годину ранку, що пояснюється біологічними особливостями організму людини.

Топографічний метод ґрунтується на тому, що на плані цеху (підприємства) відмічають місця, де сталися нещасні випадки, або ж на схемі, що являє собою контури тіла людини, позначають травмовані органи чи ділянки тіла. Це дозволяє наочно бачити місця з підвищеною небезпекою або ж найбільш часто травмовані органи. Повторення нещасних випадків в певних місцях свідчить про незадовільний стан охорони праці на даних об'єктах. На ці місця звертають особливу увагу, вивчають причини травматизму. Шляхом додаткового обстеження згаданих місць виявляють причини, котрі викликали нещасні випадки, формують поточні та перспективні заходи щодо запобігання нещасним випадкам для кожного окремого об'єкта. Повторення аналогічних травм свідчить про незадовільну організацію інструктажу, невикористання конкретних засобів індивідуального захисту тощо.

Монографічний метод аналізу травматизму і профзахворюваності полягає в детальному обстеженні всього комплексу умов праці, технологічного процесу, обладнання робочого місця, прийомів праці, санітарно-гігієнічних умов, засобів колективного та індивідуального захисту. Тобто цей метод полягає в аналізі небезпечних та шкідливих виробничих факторів, притаманних лише тій чи іншій (моно) дільниці виробництва, обладнанню, технологічному процесу. За цим методом поглиблено розглядають всі обставини нещасного

випадку і, якщо необхідно, то виконують відповідні дослідження та випробування. Дослідженню підлягають: цех, дільниця, технологічний процес, основне та допоміжне обладнання, трудові прийоми, засоби індивідуального захисту, умови виробничого середовища, метеорологічні умови в приміщенні, освітленість, загазованість, запиленість, шум, вібрація, випромінювання, причини нещасних випадків, що сталися раніше на даному робочому місці. Таким чином, нещасний випадок вивчається комплексно. Цей метод дозволяє аналізувати не лише нещасні випадки, що відбулися, але й виявити потенційно небезпечні фактори, а результати використати для розробки заходів охорони праці, вдосконалення виробництва.

Економічний метод аналізу полягає у визначенні економічної шкоди, спричиненої травмами та захворюваннями, – з одного боку та економічної ефективності від витрат на розробку та впровадження заходів на охорону праці – з другого. Ці методи дозволяють знайти оптимальне рішення, що забезпечить заданий рівень безпеки, однак вони не дозволяють вивчити причини травматизму та захворювань.

Методи анкетування передбачають письмове опитування працюючих з метою отримання інформації про потенційні небезпеки трудових процесів, про умови праці. Для цього розробляються анкети для робітників, в яких в залежності від мети опитування визначаються питання та чинники. На підставі анкетних даних (відповідей на запитання) розробляють профілактичні заходи щодо попередження нещасних випадків.

Ергономічні методи ґрунтуються на комплексному вивченні системи “людина – машина – виробниче середовище”. Відомо, що кожному виду трудової діяльності відповідають певні фізіологічні, психофізіологічні і психологічні якості людини, а також антропометричні дані. Тому при комплексній відповідності вказаних властивостей людини і конкретної трудової діяльності можлива ефективна і безпечна робота. Порушення

відповідності веде до нещасного випадку. Ергономічні методи дозволяють знайти невідповідності та усунути їх.

Психофізіологічні методи аналізу травматизму враховують, що здоров'я і працездатність людини залежать від біологічних ритмів функціонування організму. Такі явища, як іонізація атмосфери, магнітне і гравітаційне поле Землі, активність Сонця, гравітація Місяця та ін., викликають відповідні зміни в організмі людини, що змінюють її стан і впливають на поведінку не на краще. Це призводить до зниження сприйняття дійсності і може спричинитися до нещасних випадків.

Метод експертних оцінок базується на експертних висновках (оцінках) умов праці, на виявленні відповідності технологічного обладнання, пристроїв, інструментів, технологічних процесів вимогам стандартів та ергономічним вимогам, що ставляться до машин, механізмів, обладнання, інструментів, пультів керування. Виявлення думки експертів може бути очним і заочним (за допомогою анкет) [17].

Аналіз травматизму, тобто пізнання й виявлення його причин, розширює коло інженерних, санітарно-гігієнічних, психофізіологічних і правових знань, дозволяє поглянути на звичний виробничий процес по-новому і відкрити в ньому певні закономірності прояву небезпек. Результати аналізу дозволяють шукати заходів, необхідних для попередження травматизму, що зрештою допомагає удосконалити окремі види робіт, технологічних ліній. У зв'язку з цим, важливо удосконалювати, розширювати загальні підходи і методи вивчення виробничого травматизму у відповідності до існуючих соціально-економічних умов [18].

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
2. Домашнев А. Д. Конструирование и расчет химических аппаратов : учеб. для студ. высших учеб. заведений. – М. : МАШГИЗ, 1987. – 624 с.
3. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с.
4. 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. Лащинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
7. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лащинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
8. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – Под общ. ред. Сорокина В. Г. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.
9. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.
10. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

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

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

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

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

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

16. Основи охорони праці. Методи аналізу травматизму [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://library.if.ua/book/86/6056.html>.

17. Аналіз причин виробничого травматизму і професійної захворюваності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://сро.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/450.html>.

18. Єрічева Т. Ю. Виробничий травматизм: актуальні аспекти та методи аналізу причин / Т. Ю. Єрічева // Вісник НТУ «ХПІ». – 2017. – № 19 (1241). – С. 131–135.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		66