

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри МАХНВ

_____ Андрій СТЕПАНЮК
(підпис)

“ ” _____ 2023 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

на здобуття ступеня бакалавра

Напрямок підготовки: 13 – Механічна інженерія

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

Освітня програма: Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії

**на тему: Модернізація блоку розділення суміші метанол-бензол з розробкою
ректифікаційної колони**

Виконав студент IV курсу, групи ЛН-91

Роман РИБИТВА

(підпис)

Керівник проекту асистент Григорій ПОДИМАН

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультанти:

з охорони праці

доцент, к.т.н. Андрій КОВТУН

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

з економіки

доцент, к.т.н. Сергій ГУЛІЄНКО

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент:

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____ Роман РИБИТВА

Київ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

Освітня програма: Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Андрій Степанюк

“ _ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Рибитві Роману Віталійовичу

1. Тема проекту: Модернізація блоку розділення суміші метанол-бензол з розробкою ректифікаційної колони

Керівник проекту асистент Подиман Г. С.

Затверджена наказом по університету від «26» травня 2023 р. №2024-с

2. Термін подання студентом проекту: 12 червня 2023 р.

3. Вихідні дані до проекту: продуктивність по сировині $G = 10 \text{ кг/с}$; масова частка метанолу у початковій суміші 0,35; у дистилаті – 0,6; у кубовому залишку – 0,05.

4. Зміст пояснювальної записки: а) основна частина: розглянути існуючі конструкції ректифікаційних колон, обґрунтувати вибір апарата; здійснити розрахунки, що підтвердять працездатність та надійність конструкції: параметричний, конструктивний та гідравлічний, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкції; виконати складальне креслення ректифікаційної колони та її основних складальних одиниць і деталей; розробити рекомендації

щодо монтажу та експлуатації апарата; здійснити оцінку рівня стандартизації та уніфікації розробки;

б) охорона праці: провести аналіз відповідності апарата до вимог охорони праці, викласти основні вимоги безпечної експлуатації апарата;

в) рекомендації щодо монтажу та експлуатації: надати рекомендації щодо монтажу та експлуатації ректифікаційної колони.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов’язкових креслень, плакатів, презентацій тощо): технологічна схема виробництва – А1, складальні креслення: колона – А1, обичайка – А1, кришка – А2, царга – А2, технічна ідея модернізації – А3.

6. Консультанти розділів проекту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун А. І. доцент, к.т.н.		
Економіка	Гулієнко С.В. доцент, к.т.н.		

Дата видачі завдання: 18 вересня 2022 р.

Студент

_____ Роман РИБИТВА
(підпис)

Керівник дипломного проекту

_____ Григорій ПОДИМАН
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Терміни виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	2	3	4
1	Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Обґрунтування актуальності проекту.	18.09.22	
2	Опис установки. Схема установки.	01.11.22	
3	Підготовка матеріалів до публікації тез доповідей щодо особливостей роботи технологічної схеми.	16.11.22	
4	Вибір і опис конструкції ректифікаційної колони. Технічна характеристика установки, апарату. Добір матеріалів.	12.12.22	
5	Підготовка матеріалів до публікації тез доповідей щодо вибору апарату з урахуванням аналізу існуючого обладнання.	13.03.23	
6	Параметричний розрахунок: визначення основних розмірів апарату. Гідравлічний розрахунок ректифікаційної колони.	20.03.23	
7	Розробка складальних креслень апарату і його складальних одиниць. Добір конструктивних параметрів конструктивних елементів апарату	15.04.23	
8	Розрахунки на міцність. Розробка алгоритмів та програм розрахунку.	25.04.23	
9	Уточнення графічної частини проекту та специфікацій	13.05.23	

10	Обґрунтування економічної доцільності модернізації	19.05.23	
11	Розробка вимог до апарата з питань охорони праці	25.05.23	
12	Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності проекту діючим нормам за змістом і оформленням. Підготовка до захисту. Складення плану викладення доповіді, окремих питань	01.05.23	
13	Попередній захист проекту	05.06.23	
14	Корегування проекту за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відзиву. Підготовка до захисту	05.06.23	

Студент

_____ Роман РИБИТВА
(підпис)

Керівник дипломного проекту

_____ Григорій ПОДИМАН
(підпис)

Реферат

УДК 66.048.3

Модернізація блоку розділення суміші метанол-бензол з розробкою ректифікаційної колони. Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» / «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; Керівник Г.С. Подиман. – К., 2023. – 94 с.: іл. Викон. – Р.В. Рибитва – Бібліогр.: 73 с. Пояснювальна записка складається із вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань із 17 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 70 с. основного тексту, 21 рисунків, 4 таблиці.

Мета дипломної роботи – отримати практичні навички в проектуванні тепло- та масообмінного обладнання шляхом виконання параметричного розрахунку тарілчастої ректифікаційної колони та аналізу результатів.

В проекті надано технологічну схему для розділення суміші метанол-бензолу та опис конструкції тарілчастої ректифікаційної колони для виділення бензолу. Графічна частина проекту включає в себе технологічну схему установки – А1, складальні креслення: колона – А1, обичайка – А1, кришка – А2, царга – А2. До складальних креслень виконано специфікації.

МЕТАНОЛ-БЕНЗОЛ, ТАРИЛЧАСТА РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА,
КРИВА РІВНОВАГИ.

Abstract

UDC 66.048.3

Modernization of the methanol-benzene mixture separation unit with the development of a rectification column. Diploma project of educational and qualification level "Bachelor" / "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"; Leader G.S. Podyman – K., 2023. - 91 p.: illustrations. Performance – R.V. Rybytva – Bibliography: 73 p. The explanatory note consists of an introduction, 8 chapters, conclusions, a list of references from 17 items. The total amount of work is 70 s. main text, 21 figures, 4 tables.

The aim of the thesis is to gain practical skills in the design of heat and mass exchange equipment by performing a parametric calculation of a plate rectification column and analyzing the results.

The project provides a technological scheme for the separation of the methanol-benzene mixture and a description of the design of the plate-type rectification column for the separation of benzene. The graphic part of the project includes the technological scheme of the installation – A1, assembly drawings: column – A1, custom tank – A1, cover – A2, roof – A2. Specifications have been made to the assembly drawings.

METHANOL-BENZENE, PLATE RECTIFICATION COLUMN,
EQUILIBRIUM CURVE.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ
на здобуття ступеня бакалавра

Напрямок підготовки: 13 – Механічна інженерія

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

Освітня програма: Комп’ютерно-інтегровані технології проектування
обладнання хімічної інженерії

**на тему: Модернізація блоку розділення суміші метанол-бензол з розробкою
ректифікаційної колони**

Київ – 2023

Зміст

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів.....	11
Вступ.....	12
1 Призначення та область використання апарата	13
1.1 Опис технологічного процесу.....	13
1.2 Вибір типу апарата та його місце в технологічній схемі	14
2 Технічна характеристика ректифікаційної колони.....	16
3 Опис та обґрунтування обраної конструкції ректифікаційної колони	17
3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей колони.....	17
3.2 Вибір матеріалів	18
3.3 Порівняння розробленої конструкції з аналогами.....	20
3.4 Патентне дослідження	21
4 Охорона праці.....	27
4.1 Повітря робочої зони	27
4.2 Виробничий шум.....	28
4.3 Заходи захисту для нормального режиму роботи електроустановок.....	29
4.4 Освітлення.....	30
4.5 Пожежна безпека.....	31
5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції.....	33
5.1 Параметричний розрахунок ректифікаційної колони	33
5.2 Конструктивний розрахунок тарілки	41
5.3 Тепловий розрахунок ректифікаційної колони.....	44
5.4 Теплова ізоляція ректифікаційної колони	45
5.5 Гідравлічний розрахунок ректифікаційної колони.....	47
5.6 Розрахунок товщини стінки обичайки.....	49

					<i>ЛН91.066231.001 ПЗ</i>		
<i>Зм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м</i>	<i>Підпис</i>	<i>Пот</i>			
<i>Розробл</i>	<i>Ридител</i>				<i>Модернізація блоку розділення суміші метанол-бензол з розробкою ректифікаційної колони</i>	<i>Літ</i>	<i>Лист</i>
<i>Препр</i>	<i>Підписан</i>						<i>Листів</i>
							9
							91
<i>Н Контр</i>	<i>Ндлхлхл</i>					<i>КПІ ім. Ізоря Сікорського, ІХФ, МАХНВ</i>	
<i>Зптр</i>							

5.7 Розрахунок еліптичного днища	51
5.8 Розрахунок штуцерів	54
5.9 Визначення вітрового навантаження на колонний апарат.....	56
5.10 Вибір опори колонного апарата.....	61
6 Рекомендації з монтажу і експлуатації	63
7 Рівень стандартизації та уніфікації	67
8 Техніко-економічне обґрунтування модернізації	68
8.1 Техніко-економічне обґрунтування доцільності вдосконалення.....	68
8.2 Розрахунки витрат на проведення проектно-конструкторських робіт по вдосконаленню ректифікаційної колони	68
Висновки	72
Conclusion.....	73
Перелік посилань.....	74
Додаток А Документація до патентного дослідження	76
Додаток Б Патенти, які використовувались в патентному дослідженні	82
Додаток В Програма розрахунку товщини стінки обичайки колони	87
Додаток Г Публікації автора	89

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

b – ширина, м;

C – додаток до розрахункової товщини, м;

D, d – діаметри, м;

F – поверхню масообміну, м^2 ;

G – продуктивність по газовій фазі, кг/с ;

L – продуктивність по рідкій фазі, кг/с ;

H, h – висота, м;

K – коефіцієнт масопередачі, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

M – вигинаючий момент, МН/м ;

m – маса, кг ;

N – потужність, Вт ;

P – тиск, МПа ;

T – температура, К ;

t – температура, $^{\circ}\text{C}$;

V – об'єм, м^3 ;

μ – динамічний коефіцієнт в'язкості, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості, $\text{м}^2/\text{с}$;

ρ – густина, кг/м^3 ;

W – швидкість, м/с .

Вступ

Сучасні виробництва не можливі без сучасних палив та розчинників, які в свою чергу, потребують якісної сировини. Особливої популярності набула суміш бензолу. Бензол являє собою ароматичний вуглеводень, безбарвну рідину з характерним запахом, що використовується у виробництві пластиків, ліків та інших хімічних сполук. При великому різноманітті технологій нажалі не багато виробників може забезпечити необхідну якість цього продукту. Тому процес виробництва потребує поліпшення та удосконалення. Тому робота є актуальною.

Метою роботи є проектування та модернізація ректифікаційної колони, який в даній технологічній схемі служить для розділення суміші. Це дає змогу уникнути забруднення довкілля. В роботі необхідно описати конструкцію ректифікаційної колони та її основних складальних одиниць та деталей, вибрати матеріали для виготовлення, порівняти основні показники розробленої конструкції з аналогами, провести патентні дослідження та навести заходи по охороні праці; провести параметричний розрахунок та розрахунки на міцність основних деталей та вузлів конструкції; надати рекомендації, щодо монтажу та експлуатації та визначити рівень стандартизації та уніфікації теплообмінника; виконати техніко-економічне обґрунтування модернізації апарату; розробити креслення технологічної схеми, складального креслення колони, трубчатки, кришки, царги, обичайки.

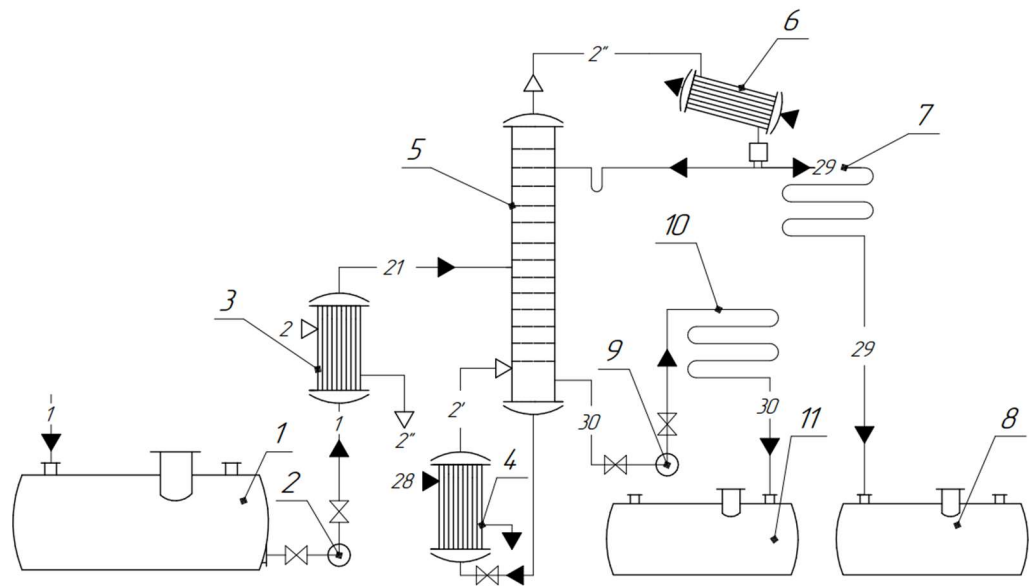
Завдання на проектування одержане під час проходження виробничої практики 17.04.2023 року в Інституті газу НАН України.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Призначення та область використання апарата

1.1 Опис технологічного процесу

Технологічну схему установки розділення суміші метанол-бензолу наведено на рисунку 1.1 [1].



1 – Ємність для вихідної суміші; 2 – Підігрівач; 3 – Ректифікаційна колона;
4 – Кип’ятильник; 5 – Дефлегматор; 6 – Дільник флегми; 7 – Холодильник;
8 – Збірник дистиляту; 9 – Збірник кубового залишку.

Рисунок 1.1 – Технологічна схема розділення суміші метанол-бензол

Система працює наступним чином: рідина з ємності 1 піднімається центробіжним насосом і нагрівається у теплообміннику 2 до температури кипіння. Потім вона подається в ректифікаційну колону 3, де проводиться процес розділення компонентів за їхніми різними кипучостями. Рідина стікає вниз по колоні, взаємодіючи з паром, яка піднімається вгору від кубової рідини, що кипить в кип'ятильнику 4. Під час масообміну пар збагачується легколетучим компонентом. Для досягнення більш повного збагачення верхню частину колони зрошують у відповідності з флегмовим числом, яке задається рідиною складу, що отримується в дефлегматорі 5 шляхом конденсації пару, що виходить з колони. Частина

конденсату виводиться з дефлегматора як готовий продукт розділення – дистилят. Він охолоджується у теплообміннику 7 та направляється до ємності 8. Кубова суміш, що збагачена важколетючим компонентом, виводиться з кубової частини колони насосом і охолоджується у теплообміннику 7. Потім вона направляється до ємності 9. Таким чином, система забезпечує ефективний процес розділення компонентів за допомогою ректифікаційної колони і забезпечує збір готових продуктів з ємності 8 та 9.

1.2 Вибір типу апарата та його місце в технологічній схемі

Весь процес ректифікації відбувається в спеціальному пристрої, який називається колоною ректифікації 3, яка зображена на рисунку 1.1. Цей прилад є вертикальною трубою, яка ізольована від тепла та містить різні елементи всередині, кількість яких залежить від конструкції та впливає на взаємодію пари та рідини. Ректифікаційні колони бувають двох видів: насадкові та тарілчасті. Кожен тип має свої відмінні особливості та продуктивність.

Насадкові колони мають менший гідравлічний опір, а процес ректифікації відбувається за допомогою вакууму. Колона ділиться на верхню та нижню частини, у кожному відсіку всередині колони розташовуються грати з насадкою. У верхньому відсіку знаходяться пристосування для пари, рідини і подальшого їх розподілу. Колона забезпечена нагрівальним елементом, завдяки якому відбувається утворення пари. В результаті контакту пари та води кожна з цих речовин насичується окремими летючими компонентами. Після того, як цикл буде пройдено, пари відправляються в дефлегматор, частина рідини йде в залишок, а частково знову потрапляє до частини нагріву.

Насадкові пристрої мають хороші властивості хімічної інертності, механічної міцності та малий гідравлічний опір. Тарілчасті колони часто використовують на великих промислових об'єктах та в побуті. Вони більш тонко поділяють рідину та пару на фракції, що надає їм перевагу. У цьому випадку

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рекомендовано використовувати тарілчасту ректифікаційну колону для ефективного розділення метанол-бензольної суміші. Це підходящий варіант з огляду на його високу продуктивність та простоту в експлуатації. Такі колони складаються з вертикальних тарілок, розташованих на певній відстані одна від одної, на яких розташовуються ковпачки. Ковпачки допомагають забезпечити рівномірний розподіл тепла та маси, що підвищує ефективність процесу ректифікації. Крім того, такі колони мають більш високу продуктивність та менші габаритні розміри, що забезпечує їх більш широке застосування. Порівняно з іншими видами ректифікаційних колон, тарілчасті колони з ковпачками мають вищу ефективність та продуктивність. Це забезпечує більш економічне та ефективне використання енергії та сировинних матеріалів, що зменшує витрати на виробництво та підвищує його конкурентоспроможність.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Технічна характеристика ректифікаційної колони

Технічна характеристика ректифікаційних колон:

Продуктивність по сировині G , кг/сек; 10,0;

Тиск в апараті, МПа 1,0;

Склад рідин по легколетючому компоненту, % масові:

Вихідної суміші, x_F 0,35;

Дистиляту, x_D 0,6;

Кубового залишку, x_W 0,05;

Габаритні розміри:

Висота тарілчастої частини, м 2,7;

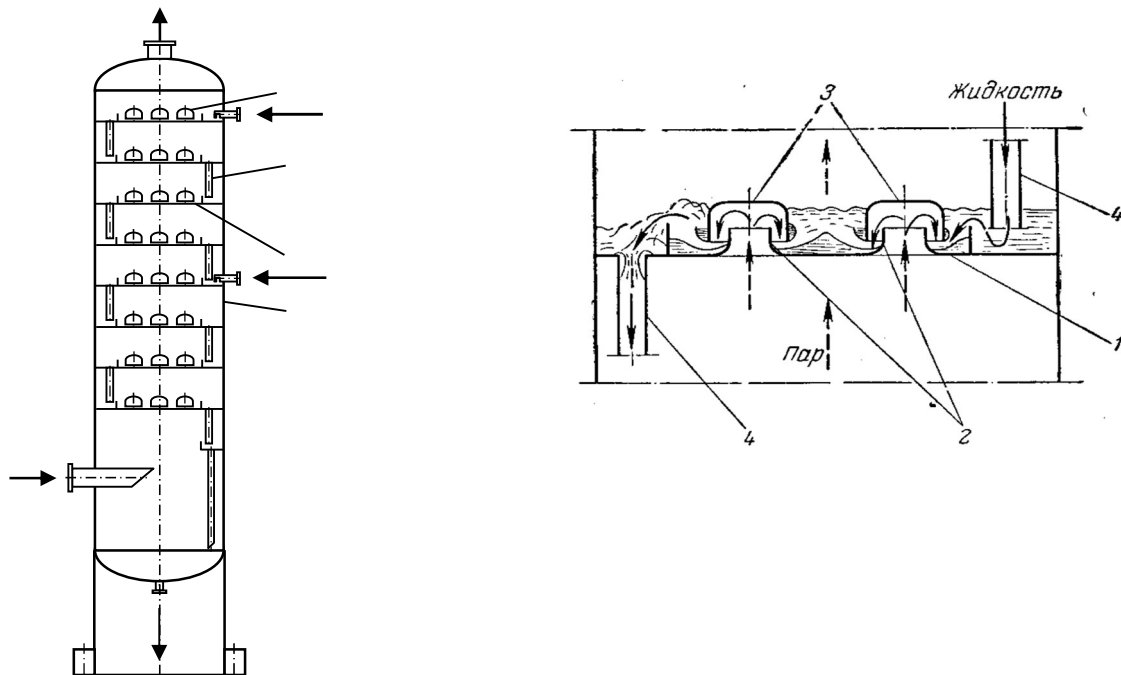
Діаметр, м 2,0.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 Опис та обґрунтування обраної конструкції ректифікаційної колони

3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей ректифікаційної колони

Схему ректифікаційної колони наведено на рисунку 3.1 [2]..



1 – Тарілка, 2 – Газові патрубки, 3 – Ковпачок, 4 – Зливні трубки,
5 – Корпус апарата.

Рисунок 3.1 – Схема ректифікаційної колони [2]

Ректифікаційна колона є складною технічною конструкцією, яка застосовується для розділення рідин на компоненти. Колона складається з пустотілого циліндричного корпусу з контактними тарілками, зображеними на рисунку 3.1, які розділяють колону на частини та забезпечують ефективний контакт між рідинами та паром. Для забезпечення ефективної роботи колони встановлюються розподільні пристрої, які вводять потоки рідини та пара, а також пристрої для виведення цих потоків з апарата.

У середині колони подається сировина, яку необхідно поділити на дві частини: висококиплячу та низькокиплячу. Пар на тарілку поступає по патрубкам, розбиваючись потім прорізами ковпачка на велику кількість окремих струменів. Далі пар проходить через шар рідини, що протікає по тарілці від одного зливного пристрою до іншого. При русі через шар значна частина струменів розпадається і пар розподіляється в рідині у вигляді бульбашок. Інтенсивність утворення піни та бризок на ковпачкових тарілках залежить від швидкості руху газу та глибини занурення ковпачка у рідину.

Потік рідини, що переміщується з однієї тарілки на іншу, зазнає взаємодії з гарячою парою, що викликає випаровування певної кількості низькокиплячого компонента з рідини. Як результат, концентрація цього компонента в рідині зменшується. З іншого боку, паровий потік, який надходить з нижньої тарілки, зіштовхується з рідиною, температура якої нижча, і деяка частина висококиплячого компонента з цього потоку конденсується, переходячи у рідину. Це спричиняє зниження концентрації висококиплячого компонента в парах та збільшення концентрації низькокиплячого компонента у рідині. Частина ректифікаційної колони, що знаходиться вище входу сировини, називається укріплюючою, а та, що знаходиться нижче – вичерпуючою.

Корпуси апаратів великого діаметру (понад метр) та ті, що працюють при високому тиску, зазвичай виготовляються з суцільнозварних труб. Апарати діаметром від 0,4 до 4 м можуть бути виготовлені з окремих царг, якщо розрахунковий тиск у колоні не перевищує 1,6 МПа [2].

3.2 Вибір матеріалів

При підборі конструкційного матеріалу для проектної установки важливо враховувати її експлуатаційні умови, такі як температура, навантаження, циклічність та агресивне середовище. Головне завдання полягає в забезпеченні ефективної технології виготовлення виробу за низької вартості та без дефіциту

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалу. Це можливо завдяки вибору матеріалу, який оптимально відповідає всім вимогам проекту. Важливою властивістю такого матеріалу є висока унікальність, яка дозволяє досягнути найкращих результатів в експлуатації проектної установки.

Для обраної установки були обрані наступні матеріали:

Для ректифікаційного апарату: корпус – Ст3 ДСТУ 2651:2005, тарілки Сталь 45 ДСТУ 7809:2015.

Сталь Ст3 ДСТУ 2651:2005 [3] та сталь 45 ДСТУ 7809:2015 [4] є стандартними матеріалами в металургійній та машинобудівній промисловості, з власними перевагами в різних областях застосування.

Переваги сталі Ст3 ДСТУ 2651:2005 полягають у досить високій міцності та пластичності, що дозволяє використовувати її в конструкційних елементах з невеликим навантаженням. Крім того, сталь Ст3 ДСТУ 2651:2005 добре зварюється та обробляється, а також має невисоку ціну порівняно з іншими сталями високої якості. Сталь 45 ДСТУ 7809:2015, з іншого боку, має високу міцність, твердість та зносостійкість, тому використовується для виготовлення важких механізмів та промислового устаткування. Пластичність сталі 45 ДСТУ 7809:2015 дозволяє використовувати її в конструкційних елементах з високими навантаженнями. Крім того, сталь 45 ДСТУ 7809:2015 добре зварюється та обробляється, що робить її популярним матеріалом у машинобудівній галузі.

Для ефективного виготовлення парогенераторів і конденсаторів варто використовувати Ст3 ДСТУ 2651:2005 з антикорозійним покриттям, тоді як для кріпильних виробів можна обрати Ст 35 ДСТУ 7809:2015. Ці вуглецеві сталі звичайної якості мають оптимальні властивості для виготовлення несучих металевих конструкцій, днищ, фланців, кріплень тощо, і легко зварюються при тисках до 1,6 МПа.

У разі використання фланців для з'єднання елементів системи необхідно використовувати прокладки. Для цього можна обрати гуму згідно з ГОСТ 7338-77, яка має твердість за приладом ТШР 1МПа. Вона має необхідні конструктивні

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

властивості, такі як висока пружність та гідронепроникність, і використовується для прокладок, обкладок тощо.

3.3 Порівняння розробленої конструкції з аналогами

У залежності від характеру поверхні контакту фаз, ректифікаційні колони можна поділити на дві основні групи:

Тарілчасті колони – принцип їхньої дії полягає в масообмінному процесі, який відбувається в газо-рідинних системах, створених на тарілках.

Насадкові колони – в цих колонах масообмін відбувається безперервно, і поверхня контакту фаз утворюється на поверхні насадки.

В даному випадку обрано модель ректифікаційної колони з ковпачковими тарілками. Ця модель дозволяє збільшити поверхню контакту фаз, що сприяє ефективному масообміну, а також спрощує конструкцію апарату.

Таблиця 3.1 – Порівняльні характеристики апаратів

Основні технологічні показники	Модернізований апарат	Тарілчаста (сітчасті тарілки)	Тарілчаста (ковпачкова)	Кільця Паля	Кільця Рашига
1	2	3	4	5	6
Питома поверхня бали (1 – 5)	5	3	2	4	3
Гідравлічний опір (1 – 5)	4	3	3	2	3
Змочуваність, бали (1 – 5)	5	4	3	2	4
Барботаж бали (1 – 5)	5	3	3	2	4

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
Складність виготовлення, бали (5 – 1)	2	3	2	1	1
Складність експлуатації, бали (5 – 1)	1	3	1	2	1
Сума балів	22	19	14	13	16

Висновок: Здійснене порівняння у таблиці 3.1 обраної тарілчастої ректифікаційної колони з аналогічними моделями показало, що вибрана конструкція колони відповідає поставленим умовам і має вищу оцінку за характеристиками.

3.4 Патентне дослідження

Мета даного розділу дипломної роботи полягає у виконанні патентного пошуку для знаходження апаратів, які мають найбільш схожий принцип дії з розроблюваними апаратами. Проведений патентний пошук дозволив виявити ряд конструкцій, описи яких наведено нижче, для порівняння об'єктів та перевірки патентної чистоти розробленої конструкції.

Автором [5] запропонована корисна модель ректифікаційної вежі, що зображена на рисунку 3.2, яка містить ребойлер, газофазний циліндр, ректифікаційний циліндр і рідкий фазний циліндр, послідовно з'єднані зверху вниз.

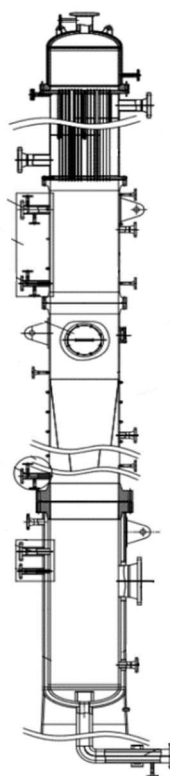


Рисунок 3.2 – Схема ректифікаційної колони [5]

Переваги:

- збільшення концентрації кінцевого продукту;
- наявність двох різних контролів температури;
- точне регулювання температури.

Недоліки:

- складність конструкції;
- великі енергозатрати.

Авторами [6] запропонована корисна модель, що зображена на рисунку 3.3, яка являє собою новий багатоспрямований спіралеподібний трубчастий піддон для розпилення, що збільшує ефективну площу використання за рахунок зміни загального типу традиційної тарілки та умов газо-рідинного потоку.

Переваги:

- збільшення площі використання;
- зменшення різниці тиску в піддоні;

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

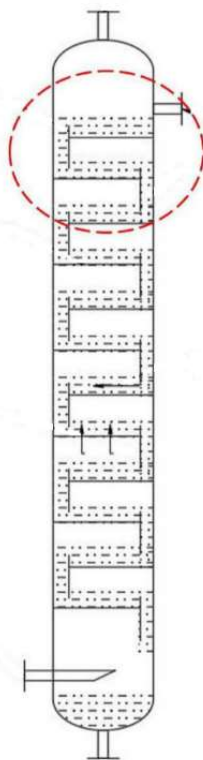


Рисунок 3.3 – Схема ректифікаційної колони з струменевим багатоспрямованим спіральним трубчастим піддоном[6]

- зменшення споживання енергії сепарації;
- покращення ефективності розділення.

Недоліки:

- низька ефективність при неправильному проектуванні;
- великі габарити.

Корисна модель, запропонована авторами [7] що зображена на рисунку 3.4, являє собою багатоходовий контактний лоток для використання в масообмінній колоні.

Переваги:

- висока продуктивність;
- хороший ступінь концентрування;
- зменшення споживання енергії сепарації.

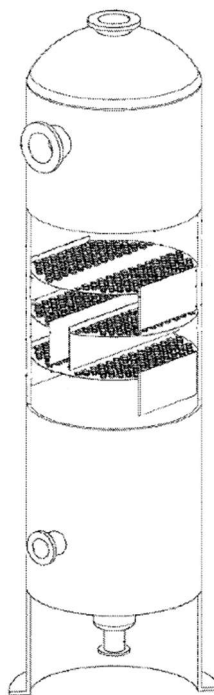


Рисунок 3.4 – Схема масопереносної колони з багатоходним контактним лотком [7]

Недоліки:

- труднощі у підтримці бажаного балансу потоку пари;
- падіння тиску;
- дисбаланс у потоці пари.

Винахід авторів [8] являє собою ректифікаційну колону з комбінованою тарілкою реактивної дистиляції з поршневим потоком, яка зображена на рисунку 3.5. Комбінована тарілка для реакційної дистиляції поршневого потоку містить реакційний лоток поршневого потоку та лоток дистиляційної вежі, розташовані під реакційним лотком поршневого потоку, принаймні два проміжні водосливи розташовані між спускною трубою та випускним водосливом реакційної вежі поршневого потоку.

Переваги:

- низький перепад тиску;
- висока ефективність;
- низькі інвестиційні витрати;

- низьке енергоспоживання.

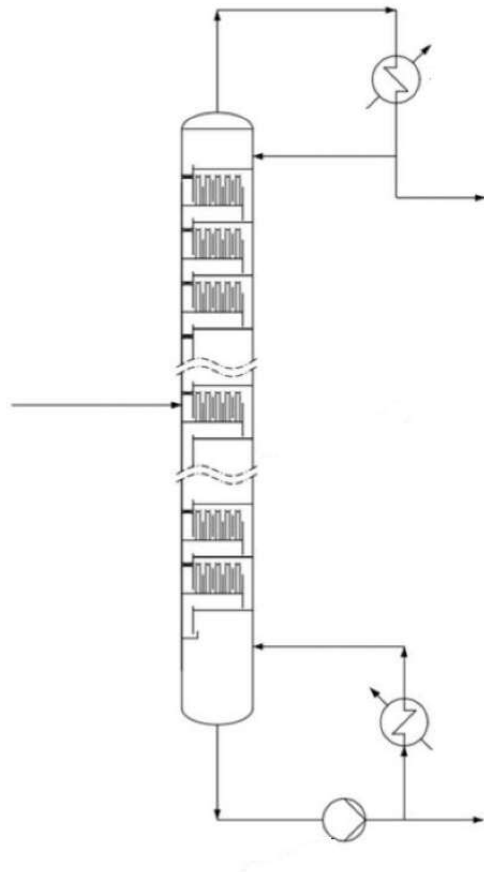


Рисунок 3.5 – Схема комбінованої башти реактивної дистиляції з поршневим потоком [8]

Недоліки:

- низький ступінь розділення;
- великі габарити.

Авторами [9] пропонується винахід, який зображений на рисунку 3.6, що стосується структурованого наповненого шару для колони для масообміну або теплообміну між першою та другою текучою фазою, у якій колона для масообміну або теплообміну призначена для роботи при тиску щонайменше 6 бар.

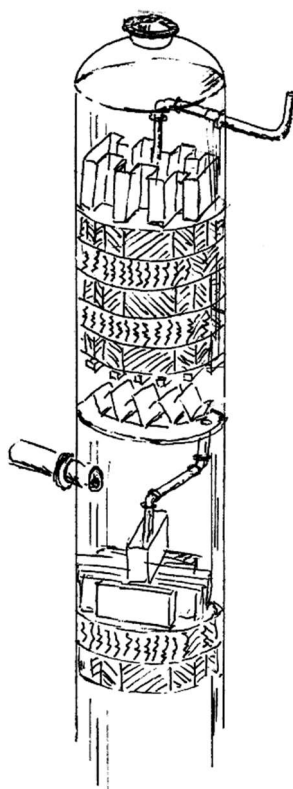


Рисунок 3.6 – Схема структурованого шару для масообміну та теплообміну під високим тиском [9]

Переваги:

- низький перепад тиску;
- висока ефективність;
- низькі інвестиційні витрати;
- низьке енергоспоживання.

Недоліки:

- низький ступінь розділення;
- великі габарити.

Висновок: за результатами патентного пошуку встановлено, що для забезпечення ефективного процесу розділення суміші метанол-бензол оптимальним апаратом є тарілчаста ректифікаційна колона. Застосування даного типу конструкції апарата забезпечує високий ступінь розділення, порівняно низькі енерговитрати, а також просту конструкцію, що знижує затрати на виготовлення та експлуатацію апарату.

4 Охорона праці

Рекомендації щодо виконання охорони праці наведено в методичних вказівках [10].

Охорона праці охоплює різні аспекти, включаючи безпеку праці, виявлення та усунення причин травматизму, профілактику професійних захворювань, управління аварійними ситуаціями на виробництві і правові аспекти охорони праці.

Ректифікаційна колона з тарілчастою конструкцією, яка призначена для розділення суміші метанол-бензолу, розташована зовні цеху. Колона обслуговується оператором, який працює в спеціальному кабінеті оператора поруч.

Бензол отримується у результаті виділення бензольних кілець із газової смоли та реформування сирової нафти, а також деалкілювання, тобто видалення алкільної групи з деяких ароматичних вуглеводнів. Бензол є високотоксичною речовиною.

У виробничому середовищі існують шкідливі та небезпечні фактори:

- Повітря в робочій зоні.
- Виробничий шум.
- Ризик ураження електричним струмом.
- Освітлення.
- Потенційна небезпека вибуху та пожежі.

4.1 Повітря робочої зони

Для забезпечення безпечних умов роботи операторів, які працюють з апаратами обробки, необхідно, щоб приміщення мало активну циркуляцію повітря, а приміщення з апаратами було оснащено системами витяжки. Робота операторів відноситься до категорії важких через шумове навантаження та режим роботи у дві зміни. Енергетичні витрати при таких умовах становлять близько 165 кКал/год. Для відпочинку персоналу передбачено закрите приміщення.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметри мікроклімату приміщення, такі як відносна вологість, швидкість руху повітря та температура, наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Порівняння характеристик за сезонами року.

Сезон року	Категорія робіт — III		
	Оптимальна температура, °С.	Швидкість руху, м/с	Відносна вологість, %
Холодний	16-18	0,1	40-60
Теплий	18-20	0,4	40-60

Параметри повітря в робочій зоні відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042-99. Забезпечення цих параметрів здійснюється у зимовий період за допомогою водяного опалення з температурою теплоносія від 70 до 90°C, а в теплий період року — вентиляцією.

Шкідливою речовиною на робочому місці є бензол, а саме пари бензолу. Клас небезпеки 2. Відповідно до гранично допустимої концентрації (ГДК) шкідливих речовин у повітрі, вміст бензолу не повинен перевищувати 5-15 мг/м³. Для захисту використовуються індивідуальні засоби захисту, такі як респіратор Клен ГП КД.

4.2 Виробничий шум

На установці виробництва існують джерела шуму, такі як транспортери, електродвигуни та загальний виробничий шум.

$$L = 98 \text{ дБА}$$

Рівень звукового тиску (в дБ) в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку (в дБА) на постійних робочих місцях при роботі установки не перевищують допустимих значень, встановлених відповідно до ДСН 3.3.6.037-99, і складають 70 дБА.

Для зниження рівня звукового тиску встановлені захисні кожухи та екрани на установці, що допомагає зменшити звуковий тиск на персонал.

Для індивідуального захисту персоналу застосовуються наступні засоби: протишумові навушники моделі 3M Peltor Optime II та беруші 3M Peltor Combat Arms 4.1. Використання цих засобів допомагає зменшити вплив шуму на слух працівників і забезпечує їм додатковий рівень захисту.

4.3 Заходи захисту для нормального режиму роботи електроустановок

Для живлення елементів установки використовується трифазна напруга 220/380 В з ізольованою нейтраллю частотою 50 Гц.

Причини, що можуть спричинити враження обслуговуючого персоналу, включають:

- Помилкове включення установки.
- Пробій на корпусі.
- Дотик людей до відкритих струмопровідних частин електроустаткування.
- Старіння ізоляції та втрата її ізоляційних властивостей.
- Дотик до частин установки, які можуть бути під напругою при короткому замиканні.

Для запобігання травмам рекомендується прийняти наступні заходи безпеки:

- Розмістити рубильники у спеціальній шафі.
- Передбачити спеціальне захисне відключення електродвигунів у разі дотику людини до них під напругою.
- Проводити проводку у захисних металевих рукавах.
- Встановити сигнальні лампи індикації включення електроустаткування на панелі керування.
- Забезпечити наявність затискачів для підключення заземлення на вузлах установки, що можуть бути під напругою.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для перевірки електричної міцності ізоляції проводиться випробування на напругу 200 В з частотою 50 Гц тривалістю 1 хвилина. Опір ізоляції повинен бути не менше 0,5 МОм.

Ізоляція провідників вимірюється мегометром 11044 згідно з ТУ 25-04-798-18, а напруга вимірюється вольтметром 351512 згідно з ТУ 25-04-1970-80.

При використанні ручного переносного електроустаткування використовується живильна напруга 42 В від окремого трансформатора. Лінія живлення устаткування має захисні теплові вимикачі.

Розрахункові геометричні розміри заземлення зі сталевих стрижнів приймаються з діаметром $d = 0,014\text{м}$.

Схема заземлення наведена на рисунку 4.1.

$$R_{\text{зм}} \leq 4 \text{ Ом}$$

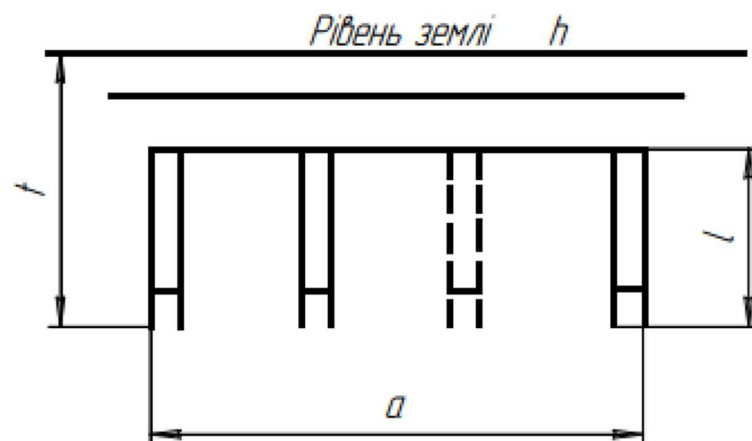


Рисунок 4.1 — Схема заземлення

4.4 Освітлення

Робоче місце оператора має освітлення робочої зони $E_{\text{нор}} = 150 \text{ лк}$.

Для забезпечення ефективної виробничої діяльності в машинобудівній промисловості необхідно правильно проектувати та виконувати освітлення. Велику роль у цьому відіграють умови освітлення, які впливають на зір, нервову систему та безпеку на робочому місці.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Санітарні норми вимагають використання природного освітлення у приміщеннях, оскільки воно підвищує захисні функції організму, стимулює та нормалізує роботу його систем і сприяє покращенню працездатності працівників.

Протягом денного періоду рекомендується використовувати природне освітлення у виробничому приміщенні.

Робота з обслуговування обладнання відноситься до загального контролю над технологічним процесом. Обладнання працює у 3 зміни, а виробництво ведеться неперервно.

Розрахунок освітлення в операторському відділенні проводиться для темного часу доби, тому використовуються загальні лампи ЛДЦ-40 з потужністю 40 Вт, світловим потоком $F=2100$ лм та освітленістю $E_{\phi} = 100$ лк.

Загальне рівномірне освітлення горизонтальної поверхні у виробничому приміщенні планується розрахувати за методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Світловий потік лампи накаливання становить:

$$F=8300 \text{ лм.}$$

Відповідно до цього світлового потоку обираємо лампу ДРИ потужністю 125 Вт.

Таким чином, фактична освітленість буде $E_{\phi} = 200$ лк, що відповідає вимогам ДБН В.2.5-28:2018. Вибір ламп накаливання зумовлений наявністю деталей у виробництві, що обертаються. При використанні світильників може виникати стробоскопічний ефект.

4.5 Пожежна безпека

Відповідно до ДБН В 1.1-7-2002, будинок має стійкість, що відповідає II ступеню вогнестійкості. Згідно ПУЕ, він відноситься до класу зони установки 2.

Серед можливих причин загоряння найбільш ймовірними є: несправність електроустаткування, короткі замикання та перевантаження кабелів живлення,

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

загоряння ізоляції електропроводки, неналежне використання вогню. Запобігання загорянню забезпечується за допомогою таких заходів: дотримання технологічних норм та правил експлуатації, паління лише у відведених для цього місцях, проведення своєчасного інструктажу з техніки безпеки для обслуговуючого персоналу, організація протипожежної агітації.

Для гасіння невеликих пожеж при відключеному електроустаткуванні використовуються вуглекисневі вогнегасники ОУ-5 (3 шт.) згідно з ГОСТ 8050-85. Для гасіння включених електромереж застосовуються порошкові вогнегасники ОП-10 (3 шт.) згідно з ДСТУ 3734-98.

У приміщенні, де розташована установка, на відстані 30 метрів один від одного мають бути встановлені пожежні гідранти з рукавами довжиною до 10 метрів. Відстань до пожежного виходу повинна бути не більшою за 40 метрів, а кількість виходів повинна бути не менше двох. Ширина прорізу двері евакуаційного виходу повинна складати 2 метри, а двері евакуаційного виходу мають відкриватись назовні.

Забезпечення охорони навколишнього середовища здійснюється за допомогою наявності системи витяжного обладнання. Всі продукти, що поступають на підприємство, доставляються в герметичних контейнерах.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції

5.1 Параметричний розрахунок ректифікаційної колони

Метою розрахунку є визначення основних геометричних розмірів ректифікаційної колони.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.1.

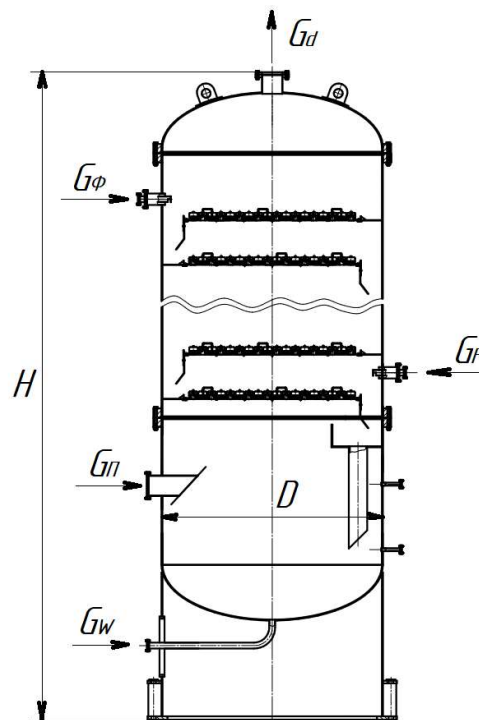


Рисунок 5.1 – Схема ректифікаційної колони

Вихідні дані до розрахунку:

витрата початкової суміші, кг/с, G_F	10;
склад рідин по легколетючому компоненту, % масові	
вихідної суміші, x_F	35;
дистилляту, x_D	60;
кубового залишку, x_W	5.

Зробимо наступні припущення за методикою [11], що майже не впливають на фактині умови протікання процесу, але значно зпростують розрахунок:

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

1) склад пари, що надходить з колони до дефлегматора (y_D), та склад флегми що повертається до колони (x_D), однакові $y_D = x_D$;

2) склад пари, що піднімається в колону (y_W), дорівнює складу рідини в кубі (x_W), тобто $y_W = x_W$.

Матеріальний баланс ректифікаційної колони:

$$G_F = G_D + G_W,$$

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

де G_F, G_D, G_W – масові витрати живлення, дистилята та кубового залишку;

x_F, x_D, x_W – вміст легколетучого компонента в живленні, дистиляті та кубовому залишку відповідно.

Вирішення рівнянь дозволяє визначити масові витрати дистиляту та кубового залишку:

$$G_D = G_F \frac{x_F - x_W}{x_D - x_W} = 10 \cdot \frac{35 - 5}{60 - 5} = 5,4 \text{ кг/с},$$

$$G_W = G_F \frac{x_D - x_F}{x_D - x_W} = 10 \cdot \frac{60 - 35}{60 - 5} = 4,5 \text{ кг/с}.$$

Розрахунок флегмового числа

Вихідні дані до розрахунку:

витрата дистиляту, кг/с, G_D	5,4;
склад рідин по легколетучому компоненту, % масові	
вихідної суміші, x_F	35;
дистиляту, x_D	60;
кубового залишку x_W	5.

Вихідним при виборі флегмового числа є його мінімальне значення. Точне визначення R_{min} можливе ітераційними методами. На практиці звичайно для знаходження R_{min} обмежуються визначенням гранично можливого положення робочих ліній процесу. За цієї методики [11] R_{min} визначимо за формулою:

$$R_{min} = \frac{x_D - y_F^*}{y_F^* - x_F}$$

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

На діаграмі $x - y$ будуюмо лінію рівноваги та лінію рівних концентрацій (рисунок 5.2).

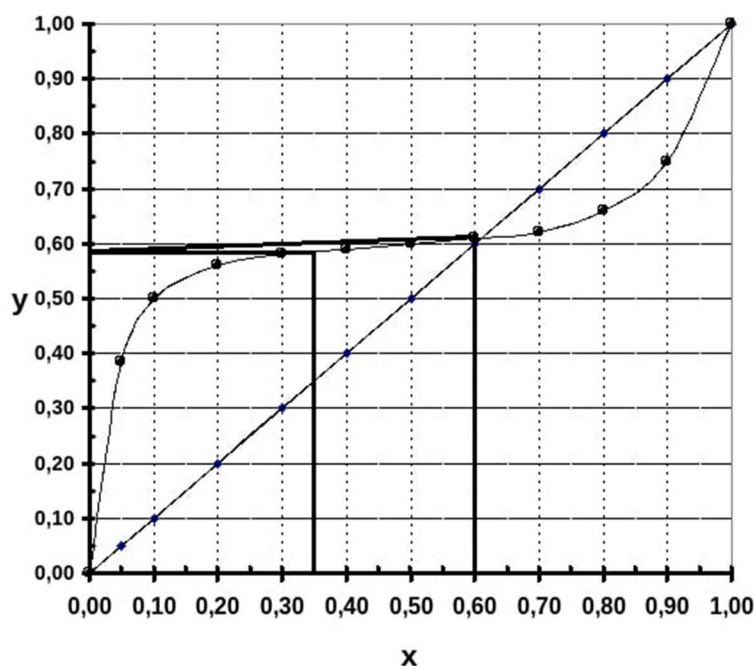


Рисунок 5.2 – Лінія рівноваги на діаграмі $x - y$

Алгоритм розрахунку за авторами [11].

Переведемо масові долі легколетючого компонента в продуктах в мольні:

$$x_F = \frac{\bar{x}_F / M_{C_6H_6}}{\bar{x}_F / M_{C_6H_6} + (1 - \bar{x}_F) / M_{CH_3OH}} = \frac{0,35/78}{0,35/78 + (1 - 0,35)/32} = 0,1809 \text{ кмоль/кмоль},$$

$$x_D = \frac{\bar{x}_D / M_{C_6H_6}}{\bar{x}_D / M_{C_6H_6} + (1 - \bar{x}_D) / M_{CH_3OH}} = \frac{0,6/78}{0,6/78 + (1 - 0,6)/32} = 0,3809 \text{ кмоль/кмоль},$$

$$x_W = \frac{\bar{x}_W / M_{C_6H_6}}{\bar{x}_W / M_{C_6H_6} + (1 - \bar{x}_W) / M_{CH_3OH}} = \frac{0,05/78}{0,05/78 + (1 - 0,05)/32} = 0,0211 \text{ кмоль/кмоль},$$

де $M_{C_6H_6}$ - мольна маса бензолу, $M_{C_6H_6} = 78 \text{ кг/кмоль}$ [7];

M_{CH_3OH} - мольна маса метанолу $M_{CH_3OH} = 32 \text{ кг/кмоль}$ [7].

З діаграми (рисунок 5.2) визначимо $y_F^* = 0,58 \text{ кмоль/кмоль}$. Тоді за формулою:

$$R_{min} = \frac{x_D - y_F^*}{y_F^* - x_F} = \frac{0,3809 - 0,58}{0,58 - 0,1809} = 0,0047$$

Визначимо робоче флегмове число:

$$R = 1,3R_{min} = 1,3 \cdot 0,766 = 0,0061$$

Масові витрати стікаючої по колоні флегми та парів, що піднімаються:

$$G_{\phi} = RG_D = 0,0061 \cdot 5,4 = 1,67 \text{ кг/с},$$

$$G_{\Pi} = (R + 1)G_D = (0,0061 + 1) \cdot 5,4 = 7,12 \text{ кг/с}.$$

Побудова робочої лінії

Вихідні дані до розрахунку:

склад рідин по легколетючому компоненту, кмоль/кмоль

вихідної суміші, x_F 0,1809;

дистилляту, x_D 0,3809;

кубового залишку, x_W 0,0211.

Визначимо відносну молярну витрату живлення F :

$$F = \frac{x_D - x_W}{x_F - x_W} = \frac{0,3809 - 0,0211}{0,1809 - 0,0211} = 2,25$$

Побудуємо робочу лінію для нижньої частини колони СЕ та для верхньої частини колони ЕА. Відрізок $0B = \frac{x_D}{R+1} = \frac{0,3809}{0,0061+1} = 0,378$

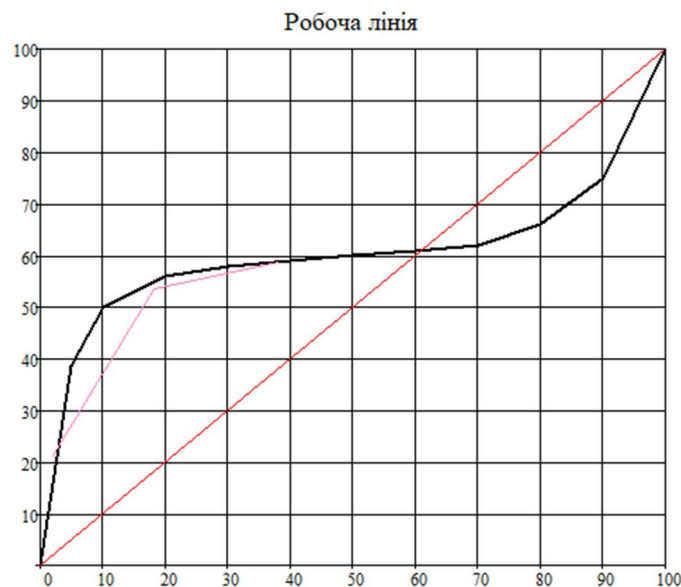


Рисунок 5.3 – Побудова робочої лінії

Визначення діаметра колони

Вихідні дані до розрахунку:

склад рідин по легколетючому компоненту, кмоль/кмоль

вихідної суміші, x_F	0,1809;
дистиляту, x_D	0,3809;
кубового залишку, x_W	0,0211;
витрата дистиляту, кг/с, G_D	5,4;
робоче флегмове число, R	0,0061.

Для верхньої частини колони:

Середні мольні концентрації рідини та парової фази:

$$x_{\text{ср}}^{\text{в}} = \frac{(x_F + x_D)}{2} = \frac{(0,1809 + 0,3809)}{2} = 0,2809 \text{ кмоль/кмоль},$$

$$y_{\text{ср}}^{\text{в}} = \frac{R}{R+1} x_{\text{ср}}^{\text{в}} + \frac{x_D}{R+1} = \frac{0,0061}{0,0061+1} 0,533 + \frac{0,3809}{0,0061+1} = 0,35 \text{ кмоль/кмоль}.$$

Середня мольна маса парів:

$$M_{\text{ср}}^{\text{в}} = y_{\text{ср}}^{\text{в}} M_{\text{C}_6\text{H}_6} + (1 - y_{\text{ср}}^{\text{в}}) M_{\text{CH}_3\text{OH}} = 0,71 \cdot 78 + (1 - 0,71) 32 = 48,44 \text{ кг/кмоль}.$$

По діаграмі (рисунок 5.4) середня температура фаз: $T_y^{\text{с}} = 391,8 \text{ К}$,

$$T_x^{\text{с}} = 326,2 \text{ К}.$$

Середня густина парів по рівнянню Клапейрона:

$$\rho_y^{\text{в}} = \frac{M_{\text{ср}}^{\text{в}} 273}{22,4 \cdot T_y^{\text{в}}} = \frac{48,44 \cdot 273}{22,4 \cdot 391,8} = 1,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Середня густина рідини:

$$\rho_x^{\text{в}} = x_{\text{ср}}^{\text{в}} \rho_{\text{C}_6\text{H}_6}^{\text{в}} + (1 - x_{\text{ср}}^{\text{в}}) \rho_{\text{CH}_3\text{OH}}^{\text{в}} = 0,2809 \cdot 769,2 + (1 - 0,2809) 757,9 = 765,8 \text{ кг/м}^3,$$

де $\rho_{\text{C}_6\text{H}_6}^{\text{в}}$ – густина бензолу при $T_y^{\text{в}} = 391,8 \text{ К}$, $\rho_{\text{C}_6\text{H}_6}^{\text{в}} = 769,2 \text{ кг/м}^3$;

$\rho_{\text{CH}_3\text{OH}}^{\text{с}}$ – густина метанолу при $T_x^{\text{с}} = 326,2 \text{ К}$, $\rho_{\text{CH}_3\text{OH}}^{\text{с}} = 757,9 \text{ кг/м}^3$.

Середній масовий потік пари:

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$G_{\Pi}^B = G_{\Pi} \frac{M_{cp}^B}{M_{C_6H_6}} = 7,12 \cdot \frac{48,44}{78} = 4,42 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Гранична швидкість пари за формулою:

$$w_B = \phi c \sqrt{\frac{\rho_x - \rho_y}{\rho_y}} = 1 \cdot 0,012 \sqrt{\frac{765,8 - 1,5}{1,5}} = 0,270 \text{ м/с.}$$

де ϕ – фактор спінення рідини, для ректифікації метанол-бензолу $\phi = 1$; c – коефіцієнт, що залежить від конструкції тарілок, відстані між тарілками, робочого тиску в колоні, навантаження колони по рідині, $c = 0,012$; ρ_x, ρ_y – середня густина рідини та пари, кг/м^3 .

Робоча швидкість парів:

$$w_B^p = 0,7 w_B = 0,7 \cdot 0,270 = 0,189 \text{ м/с.}$$

Для нижньої частини колони:

Середня мольна концентрація рідини:

$$x_{cp}^H = \frac{(x_F + x_W)}{2} = \frac{(0,1809 + 0,0211)}{2} = 0,101 \text{ кмоль/кмоль.}$$

Середня мольна концентрація парової фази:

$$y_{cp}^H = \frac{F + R}{R + 1} x_{cp}^H - \frac{F - 1}{R + 1} x_W = \frac{2,25 + 0,0061}{0,0061 + 1} \cdot 0,101 - \frac{2,25 - 1}{0,0061 + 1} \cdot 0,0211 = 0,177 \text{ кмоль/кмоль.}$$

Середня мольна маса парів:

$$M_{cp}^H = y_{cp}^H M_{C_6H_6} + (1 - y_{cp}^H) M_{CH_3OH} = 0,177 \cdot 78 + (1 - 0,177) 32 = 40,16 \text{ кг/кмоль.}$$

По діаграмі (рисунок 5.4) середня температура фаз $T_y^H = 350,2 \text{ К}$, $T_x^H = 334,1 \text{ К}$;

Середня густина парів по рівнянню Клапейрона:

$$\rho_y^H = \frac{M_{cp}^H 273}{22,4 \cdot T_y^H} = \frac{40,16 \cdot 273}{22,4 \cdot 350,2} = 1,39 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Середня густина рідини:

$$\rho_x^H = x_{cp}^H \rho_{C_6H_6}^H + (1 - x_{cp}^H) \rho_{CH_3OH}^H = 0,101 \cdot 824,8 + (1 - 0,101) 752,9 = 816,9 \text{ кг/м}^3,$$

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

де $\rho_{C_6H_6}^H$ – густина бензолу при $T_y^H = 350,2$ К, $\rho_{C_6H_6}^H = 824,8$ кг/м³;
 $\rho_{CH_3OH}^H$ – густина метанолу при $T_x^H = 334,1$ К, $\rho_{CH_3OH}^H = 752,9$ кг/м³.

Середній масовий потік пари визначимо за формулою:

$$G_{\Pi}^H = G_{\Pi} \frac{M_{cp}^H}{M_{C_6H_6}} = 7,12 \cdot \frac{40,16}{78} = 3,66 \text{ кг/с.}$$

Гранична швидкість пари становить:

$$w_H = \varphi c \sqrt{\frac{\rho_x - \rho_y}{\rho_y}} = 1 \cdot 0,012 \sqrt{\frac{816,9 - 1,39}{1,39}} = 0,289 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Робоча швидкість парів дорівнює:

$$w_p^H = 0,7 w_H = 0,7 \cdot 0,289 = 0,202 \text{ м/с.}$$

Визначимо середній масовий потік пари:

$$G_{\Pi}^{cp} = \frac{G_{\Pi}^B + G_{\Pi}^H}{2} = \frac{4,42 + 3,66}{2} = 4,04 \text{ кг/с.}$$

Визначимо середню густина парів:

$$\rho_y^{cp} = \frac{\rho_y^B + \rho_y^H}{2} = \frac{1,5 + 1,39}{2} = 1,45 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

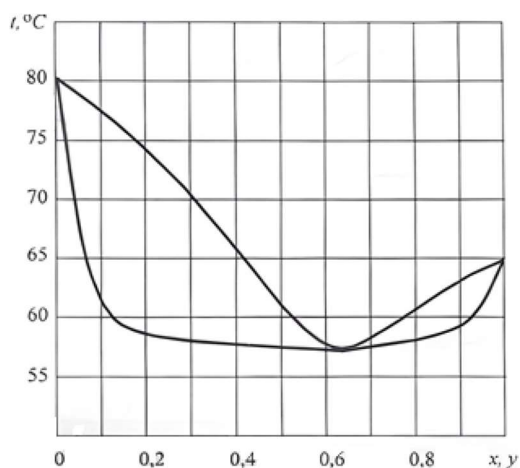


Рисунок 5.4 – Діаграма t-x-y.

Середня робоча швидкість парів дорівнює:

$$w_p^{cp} = \frac{w_p^B + w_p^H}{2} = \frac{0,189 + 0,202}{2} = 0,196 \text{ м/с.}$$

Розрахуємо діаметр колони за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{G_{\Pi}^{cp}}{\rho_y^{cp} 0,785 w_p^{cp}}} = \sqrt{\frac{4,54,04}{1,45 \cdot 0,785 \cdot 0,196}} = 4,04 \text{ м.}$$

де w – швидкість пара, віднесена до повного поперечного перетину колони, м/с;

G_{Π} – середні масові потоки пари, кг/с.

Вибираємо колону з діаметром $D = 4050$ мм і робимо перевірку.

$$\Delta = \frac{D_{\text{пр}} - D}{D_{\text{пр}}} = \frac{4100 - 4050}{4100} = 0,012 \text{ \%}.$$

Приймаємо колону з діаметром $D = 4050$ мм.

Об'ємна швидкість пари, що проходить через колону при середній температурі в колоні $t_{cp} = \frac{69^{\circ} + 86^{\circ}}{2} = 77,5^{\circ}\text{C}$:

$$V_y = \frac{G_D (R + 1) \cdot 22,4 \cdot (273 + t_{cp})}{M_p \cdot 273} = \frac{5,4 \cdot (0,0061 + 1) \cdot 22,4 \cdot (273 + 77,5)}{48,44 \cdot 273} = 3,22 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Визначимо швидкість пари в колоні:

$$\omega_y = \frac{V_y}{0,785 \cdot D^2} = \frac{3,22}{0,785 \cdot 4,05^2} = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Висновок: для ректифікаційної колони діаметром $D = 4050$ мм обираємо тарілку типу ТСК-РЦ, що має параметри: робоча площа тарілки $F_p = 12,57 \text{ м}^2$, площа проходу парів $F_o = 13,64 \text{ м}^2$, кількість ковпчків на тарілці $m = 234$, діаметр ковпачка $d_k = 150$ мм.

Визначення числа тарілок

Вихідними даними для розрахунку є побудовані в $y-x$ діаграмі рівноважна та робоча лінії процесу.

По діаграмі (рисунок 5.5) знаходимо число ступеней змінення концентрації. Для цього будується ступінчаста лінія, що складається з горизонтальних та вертикальних відрізків між робочою та рівноважною лініями.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

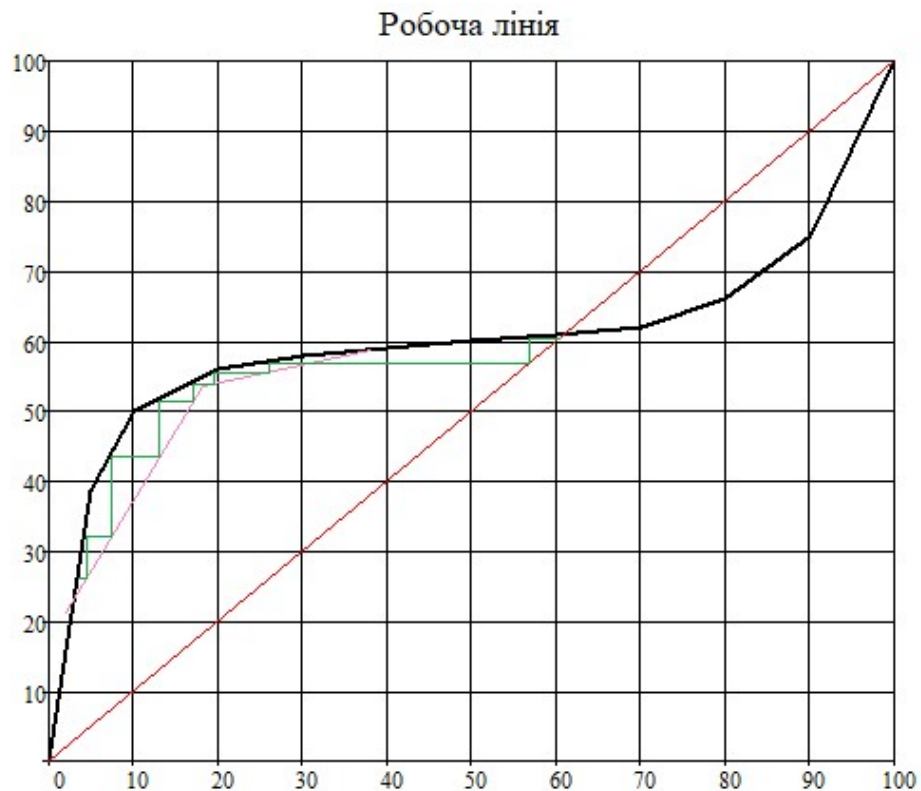


Рисунок 5.5 – Схема роботи тарілок в $y-x$ діаграмі

Загальне число тарілок $n = 7$.

Висота тарільчатої частини:

$$H_T = (n - 1) \cdot h = (7 - 1) \cdot 0,8 = 4,8 \text{ м}$$

Висновок: в результаті проведених побудов та розрахунків встановлено, що необхідна кількість тарілок складає 7. Приймаємо колону діаметром 4050 мм і висотою 4800 мм.

5.2 Конструктивний розрахунок тарілки

Метою розрахунку є визначення параметрів тарілки та їх кількості.

Тарілка із ковпачком ректифікаційної колони зображена на рисунку 5.6.

Вихідні дані:

Діаметр апарата d , м	4,05
Об'ємна швидкість пару $\text{м}^3/\text{с}$	3,22
Швидкість пари, $\text{м}/\text{с}$	1,025

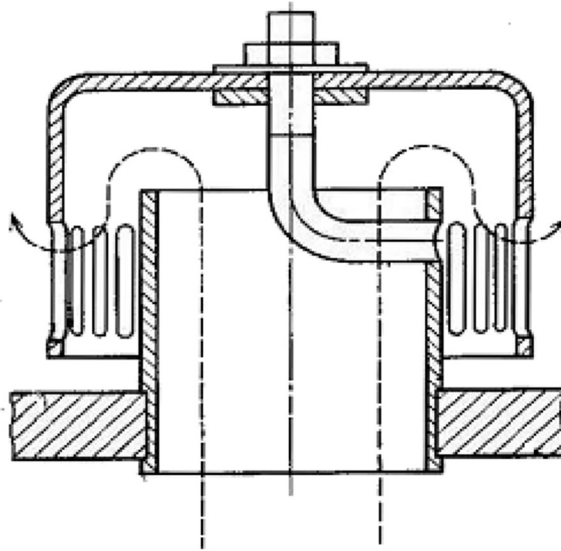


Рисунок 5.6 – Тарілка з ковпачками

Конструктивний розрахунок проводимо за [12].

Сумарна площа поперечного розрізу всіх парових патрубків повинна складати 10-20% дійсного розрізу колони (приймаємо 10%) :

$$S_{\Pi} = 0,1 \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 0,1 \cdot \frac{3,14 \cdot 4,05^2}{4} = 1,29 \text{ м}^2$$

Швидкість пари у паровому патрубку ковпачка:

$$\omega_{\Pi} = \frac{\omega_y}{0,1} = \frac{1,025}{0,1} = 10,25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Вибираємо парові патрубки розміром 32х3,5 мм.

Кількість парових патрубків:

$$n = \frac{4V_{\text{сек}}}{\omega_{\Pi} \pi d_{\Pi}^2},$$

де $d_{\Pi} = 0,025 \text{ м}$ – діаметр парового патрубку.

Секундна витрата пари в колоні:

$$V_{\text{сек}} = V_y = 3,22 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Звідки:

$$n = \frac{4 \cdot 3,22}{10,25 \cdot 3,14 \cdot 0,025^2} = 639.$$

Діаметр ковпачка розраховуємо із умови рівності швидкості пари у паровому патрубку та кільцевого перерізу:

$$d_k = \sqrt{d_{\Pi}^2 + (d_{\Pi} + 2\delta)^2} = \sqrt{0,025^2 + (0,025 + 2 \cdot 0,0035)^2} = 0,041 \text{ м},$$

де $\delta = 0,0035 \text{ м}$ – товщина стінки парового патрубка.

Умова рівності дійсного перерізу патрубка і площі перерізу, через яку проходить пар у ковпачку: $\frac{\pi d_{\Pi}^2}{4} = \pi d_{\Pi} h_k$, звідки знаходимо висоту ковпачка над паровим патрубком h_k :

$$h_k = 0,25 d_{\Pi} = 0,025 \cdot 0,25 = 0,00625 \text{ м}.$$

Приймаємо розміри прорізів ковпачка: $b = 0,005 \text{ м}$, $l = 0,04 \text{ м}$.

Швидкість пари ω_2 у прорізах ковпачків приймаємо 4 м/с .

Знаходимо кількість прорізів i у ковпачку із рівняння:

$$inbl\omega_2 = V_y.$$

$$i = \frac{V_y}{nbl\omega_2} = \frac{3,22}{639 \cdot 0,005 \cdot 0,04 \cdot 4} = 6,29.$$

Відстань між прорізами:

$$a = \frac{\pi d_k - ib}{i} = \frac{3,14 \cdot 0,041 - 6,29 \cdot 0,005}{6,29} = 0,0154 \text{ м}.$$

Діаметр переливної трубки:

$$d_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{4V_{\text{хн}}}{\pi t \omega_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0174}{3,14 \cdot 2 \cdot 0,15}} = 0,271 \text{ м},$$

Приймаємо $d_{\text{тр}} = 0,275 \text{ м}$.

де $V_{\text{хн}}$ – об'єм рідини, яка стікає через переливну трубу у нижній частині колони, $\text{м}^3/\text{с}$; t – прийняте число переливних трубок на тарілці; ω_p – прийнята швидкість стікання рідини, м/с .

Висота рідини над обрізом зливної труби:

$$h_p = \sqrt[3]{\left(\frac{V_{\text{хн}}}{1,77}\right)^2}.$$

Так як периметр вільного перерізу переливу:

$$L = \pi d_{\text{тр}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,271 = 1,702 \text{ м},$$

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$\text{то } h_p = \sqrt[3]{\left(\frac{0,0174}{1,773 \cdot 1,702}\right)^2} = 0,032 \text{ м.}$$

Приймаємо рівень рідини на тарілці $h_T = 0,085 \text{ м}$, тоді висота переливної труби над тарілкою:

$$h_c = h_T - h_p = 0,085 - 0,032 = 0,053 \text{ м}$$

Відстань між нижніми обрізом ковпачка і тарілкою:

$$h_{к.т} = h_c - l = 0,053 - 0,04 = 0,013$$

Висота ковпачка до прорізів:

$$h_1 = h_k + 2h_p = 0,00625 + 2 \cdot 0,032 = 0,07025 \text{ м.}$$

Висновок: в даному розрахунку було визначено розміри ковпачків $h_1 = 0,07025$ та розміри парових патрубків $d_{тр} = 0,275 \text{ м}$.

5.3 Тепловий розрахунок ректифікаційної колони

Метою розрахунку є визначення втрат теплоти в ректифікаційній колоні.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.7.

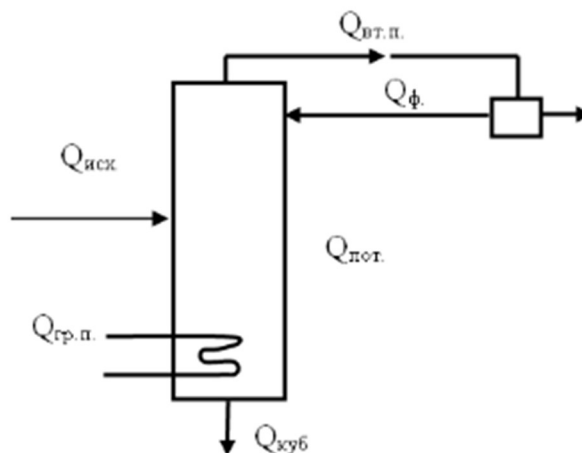


Рисунок 5.7 – Розрахункова схема теплового розрахунку ректифікаційної колони

Кількість теплоти, яку необхідно подавати до кубу колони, визначають із рівняння теплового балансу [12]:

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$Q_k = Q_D + G_D c_D t_D + G_W c_W t_W - G_f c_f t_f + Q_{\text{втр.}}$$

Теплоємність суміші метанолу та бензолу c_1 при температурах 65°C, 87°C, 108°C: $c_f = 2684 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$, $c_D = 2088 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$, $c_W = 2819 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$.

Кількість теплоти, яку забирає метанол у дефлегматорі:

$$Q_D = G_D (1 + R) \cdot r = 5,4 \cdot (1 + 0,0061) \cdot 1021,4 \cdot 10^3 = 5549204,91 \text{ Вт,}$$

де $r = 1021,4 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$ – теплота конденсації по метанолу.

Витрати тепла у кубі колони з урахуванням втрати теплоти:

$$Q_k = 5549204,91 + 5,4 \cdot 2088 \cdot 65 + 4,5 \cdot 2819 \cdot 108 + 10 \cdot 2684 \cdot 87 + 6985 = 9994191,91 \text{ Вт.}$$

Витрати гріючої пари із $p = 1 \text{ атм}$ і вологістю 5%:

$$G_{\Pi} = \frac{9994191,91}{2530 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 4,15 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Витрати бензолу у дефлегматорі при нагріванні його на 20 градусів:

$$G_B = \frac{5549204,91}{2530 \cdot 20} = 109,6 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Витрати бензолу у холодильнику дистиляту:

$$G'_B = \frac{5,4 \cdot 2088 \cdot (87 - 40)}{2530 \cdot 20} = 10,4 \text{ кг/с}$$

Загальні витрати бензолу 124,15 кг/с

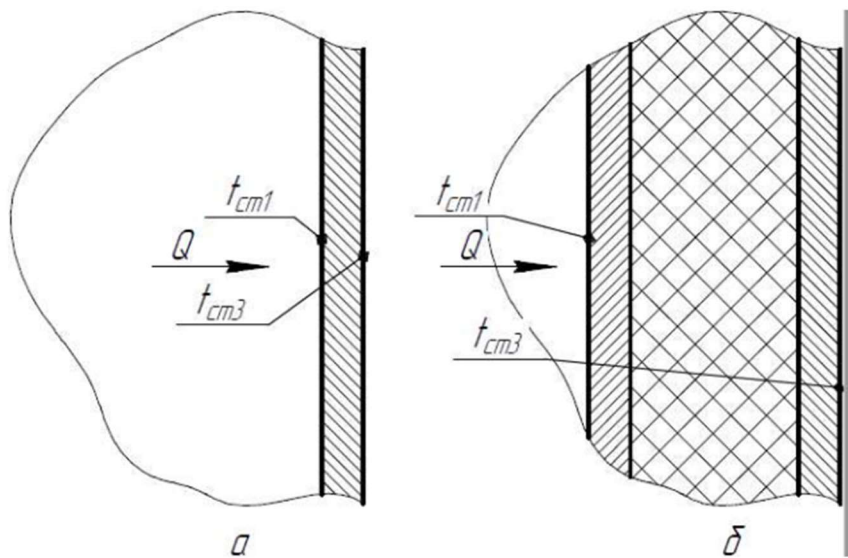
Висновки: в результаті розрахунку було визначено витрати теплоти в ректифікаційній колоні 9994191,91 Вт і витрати бензолу 124,16 кг/с.

5.4 Теплова ізоляція ректифікаційної колони

Метою розрахунку є визначення параметрів теплової ізоляції колони. При розрахунку допустимих теплових витрат у навколишнє середовище за рахунок конвекції приймаємо, що колона знаходиться в приміщенні, покритому азбестовою ізоляцією $\lambda_{\text{із}} = 0,151 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$ із температурою зовнішньої стінки $t_3 = 40^\circ\text{C}$, а середня температура навколишнього середовища $t_{\text{нс}} = 14^\circ\text{C}$ [11].

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.8.



а – Стандартна схема; б – Схема розробленої конструкції

Рисунок 5.8 – Схема зовнішньої стінки апарата

Розрахунок виконується за методикою наведеною в [11].

Загальні витрати тепла:

$$Q_{\pi} = aF(t_z - t_{nc}) = aF\Delta t$$

де a – сумарний коефіцієнт тепловіддачі конвекцією Вт/(м² · °С).

Знаходимо коефіцієнт тепловіддачі, поверхню теплообміну та витрати теплоти в навколишнє середовище:

$$a = 9,74 + 0,07 \cdot (40 - 14) = 11,56 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}};$$

$$F = \pi dH + 2 \cdot 0,785d^2 = 3,14 \cdot 2,0 \cdot 2,7 + 2 \cdot 0,785 \cdot 2,0^2 = 23,24 \text{ м}^2;$$

$$Q_{\text{втр}} = aF(t_z - t_{nc}) = 11,56 \cdot 23,24 \cdot (40 - 14) = 6985 \text{ Вт.}$$

Кількість теплоти, яка передається теплопровідністю ізоляції:

$$Q_{\text{втр}} = q_L L = \frac{\lambda_{i3}}{\delta_{i3}} = \frac{\lambda_{i3} \pi (t_{\text{вн}} - t_z)}{q_L},$$

де $q_L = \frac{Q_{\text{втр}}}{L}$ – граничні теплові витрати на 1 м довжини циліндричної поверхні, Вт/м.

Умовна висота поверхні ізоляції:

$$L = \frac{F}{\pi d} = \frac{23,24}{3,14 \cdot 2,0} = 3,69 \text{ м.}$$

$$\text{Отже } q_L = \frac{6985}{3,69} = 1892 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}.$$

Приймаємо $t_{\text{вн}} = 60^\circ\text{C}$, замінивши ліву частину рівняння на А:

$$A = \frac{0,151 \cdot 3,14 \cdot (60 - 40)}{1892} = 0,005.$$

$$\text{При } A = 0,005, \frac{d_{\text{із.з}}}{d_{\text{із.вн}}} = 1,0195.$$

Визначаємо товщину ізоляції:

$$\delta_{\text{із}} = \frac{d_{\text{із.з}} - d_{\text{із.вн}}}{2} = \frac{d_{\text{із.вн}}}{2} \cdot \left(\frac{d_{\text{із.з}}}{d_{\text{із.вн}}} - 1 \right) = \frac{2,0}{2} \cdot (1,0195 - 1) = 0,0195 \text{ м.}$$

Виходячи із спрощеного співвідношення (для плоскої стінки):

$$Q_{\text{п.ст}} = \frac{\lambda_{\text{із}}}{\delta_{\text{із}}} F (t_{\text{вн}} - t_3),$$
$$\delta_{\text{із}} = \frac{\lambda_{\text{із}} F (t_{\text{вн}} - t_3)}{Q_{\text{втр}}} = \frac{0,151 \cdot 23,24 \cdot (60 - 40)}{6985} = 0,01 \text{ м}$$

Перевіряємо температуру внутрішньої поверхні ізоляції:

$$at_3 - t_{\text{вн}} a(t_3 - t_{\text{вн}}) = \frac{\lambda_{\text{із}}}{\delta_{\text{із}}} (t_{\text{вн}} - t_3),$$

$$\text{звідки } t_{\text{вн}} = t_3 + \frac{a(t_3 - t_{\text{вн}})\delta_{\text{із}}}{\lambda_{\text{із}}} = 40 + \frac{11,56 \cdot (40 -) \cdot 0,01}{0,151} = 59,9^\circ\text{C}$$

$$\text{Розбіжність: } 60 - 59,9 = 0,1^\circ\text{C} < 1^\circ\text{C}$$

Висновок: в результаті розрахунку було виявлено що розбіжність складає 0,2%, що є допустимим. Приймаємо товщину ізоляції $\delta_{\text{із}} = 0,01$.

5.5 Гідравлічний розрахунок ректифікаційної колони

Метою розрахунку є визначення гідравлічних опорів колони.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.9.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

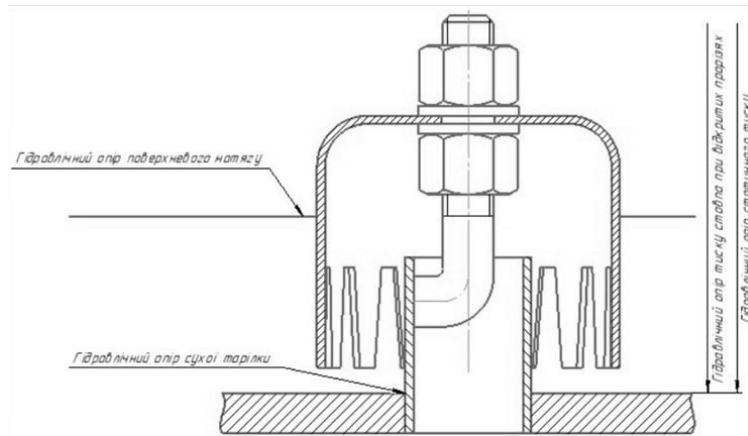


Рисунок 5.9 – Розрахункова схема гідралічного опору

Гідралічний опір колони розраховуємо [12]:

$$\Delta p_k = N_T \Delta p,$$

де N_T – число тарілок; Δp – гідралічний опір тарілки, Н/м².

Гідралічний опір ковпачкової тарілки:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4,$$

де Δp_1 – опір сухої тарілки при повністю відкритих прорізах, Н/м²; Δp_2 – опір, обумовлений силами поверхневого натягу, Н/м²; Δp_3 – гідралічний тиск стовпа при відкритих прорізах, Н/м²; Δp_4 – статичний тиск стовпа рідини над верхньою прорізною, Н/м².

Знаходимо значення кожного із складових Δp ,

$$\Delta p_1 = \xi \frac{\rho_{\text{уср}} \omega_2^2}{2} = 1,75 \cdot \frac{1,45 \cdot 4^2}{2} = 20,3 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2},$$

де $\xi = 1,75$ – прийняте значення коефіцієнт опору; $\rho_{\text{уср}} = 1,45$ – середня густина пари в колоні, кг/м³; $\omega_2 = 4$ – швидкість пари у прорізах ковпачків, м/с.

$$\Delta p_2 = 2\sigma \left(\frac{1}{l} + \frac{1}{b} \right),$$

де σ – поверхневий натяг, кг/с²; l – висота прорізі, м; b – ширина прорізі, м.

Для суміші:

$$\sigma = 25 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}^2.$$

$$\Delta p_2 = 2 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{1}{0,04} + \frac{1}{0,005} \right) = 11,25 \text{ Н/м}^2.$$

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$\Delta p_3 + \Delta p_4 = p_{xc} g (0,5l + h_p) = 760 \cdot 9,81 \cdot (0,5 \cdot 0,04 + 0,032) = 387 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

Загальний опір тарілки:

$$\Delta p = 24,48 + 11,25 + 387 = 422 \text{ Н/м}^2.$$

Загальний опір всіх 12 тарілок :

$$\Delta p_k = N_T \Delta p = 8 \cdot 422 = 3376 \text{ Н/м}^2.$$

Мінімальна допустима відстань між тарілками, які можуть забезпечити роботу гідравлічного затвору, повинна задовольняти умову:

$$h_{\text{м.т}} > h_{\text{пер}} \approx 1,8 \frac{\Delta p}{p_{\text{хв}} g},$$

або

$$0,6 > 1,8 \cdot \frac{422}{760 \cdot 9,81} = 0,101$$

Висновок: умова виконується, забезпечуючи нормальну роботу гідравлічного затвору в переливному пристрої тарілки. Загальний опір тарілки $\Delta p = 422 \text{ Н/м}^2$, загальний опір всіх тарілок $\Delta p_k = 3376 \text{ Н/м}^2$.

5.6 Розрахунок товщини стінки обичайки

Метою розрахунку є визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією внутрішнього тиску. Матеріал стінки обичайки – вуглецева сталь Ст3.

Вихідні дані до розрахунку:

Діаметр колони D, м	4,05
Висота колони H, м	4,8
Температура робочого середовища t, К	372
Тиск в апараті p, МПа	1,0
Термін служби апарата τ , років	15
Швидкість корозії, П, мм/рік	0,3
Матеріал корпусу	Ст3

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки під дією внутрішнього тиску проводимо за методикою згідно з [13]. Схему до розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки зображено на рисунку 5.10.

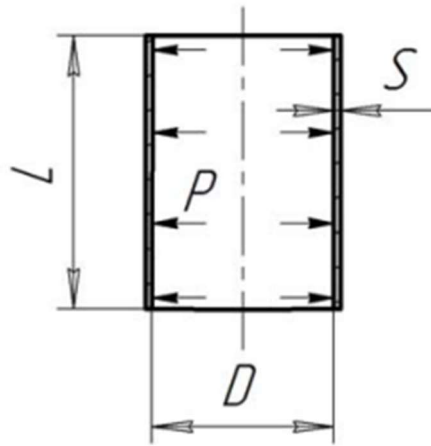


Рисунок 5.10 – Розрахункова схема для визначення товщини циліндричної обичайки

Розрахункова товщина:

$$S_R = \frac{p_R \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p_R} \quad (5.1)$$

де $\varphi = 1$ – розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва для стикового з двобічним суцільним проваром, що виконується автоматичним або напівавтоматичним зварюванням за ДСТУ 4003-2000.

Виконавча товщина стінки:

$$S = S_R + C + C_0 \quad (5.2)$$

де C_1 – додаток до розрахункової товщини, що враховує корозію та ерозію, мм;

$C_2 = 0$ – технологічний додаток до розрахункової товщини, що враховує можливе стоншення листа метала при таких операціях: вигин, штампування;

$C_3 = 0$ – додаток до розрахункової товщини, що враховує відємний допуск;

C_0 – додаток до розрахункової товщини, який іде на округлення до найбільшої стандартної товщини листа.

$$C_1 = 6 \text{ мм}$$

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (5.3)$$

Для розрахунку ректифікаційної колони, приймаємо товщину листа $S = 20$ мм, оскільки колона сприймає вітрові навантаження, а також корозійну дію розчинників.

Перевіряємо умову застосування розрахункових формул:

$$\frac{S-C}{D} < 0,1 \quad (5.4)$$

Умова застосування розрахункових формул виконується.

Максимальний тиск, що може витримати стінка при виконавчій товщині:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S-C)}{(D+S-C)} \quad (5.5)$$

Умова міцності:

$$p_R < [p] \quad (5.6)$$

Умова виконується.

У результаті проведеного розрахунку було визначено: товщину стінки циліндричної обичайки $S = 20$ мм, додаток до товщини $C_1 = 2$ мм і допустимий тиск 1,192 МПа.

5.7 Розрахунок еліптичного днища

Вихідні дані по розрахунку:

Матеріал днища	Ст3
Діаметр колони D , м	4,05
Розрахунковий тиск p_r , МПа	1,0
Розрахункова температура t_R , К	372
Допустиме напруження $[\sigma]$, МПа	149

Метою розрахунку є визначення товщини стінки еліптичного днища під дією внутрішнього тиску. Розрахунок виконано за методикою [13]. Розрахункову

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

схему для визначення товщини стінки еліптичного днища наведено на рисунку 5.11.

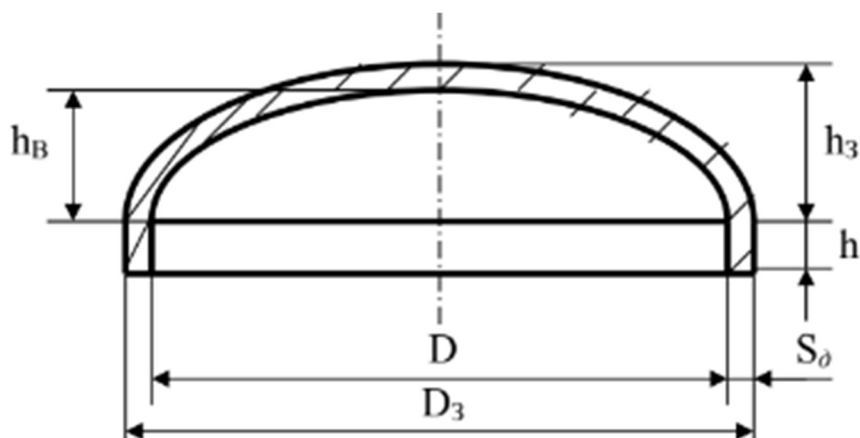


Рисунок 5.11 – Розрахункова схема для визначення товщини еліптичного днища

Для стандартних еліптичних днищ, внутрішній радіус кривизни у вершині, м:

$$R_e = D = 4,05.$$

Розрахункова товщина стінки еліптичного днища, м:

$$S_R = \frac{p_R \cdot R_e}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot 0,1} = \frac{1 \cdot 4,05}{2 \cdot 149 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,1} = 13,6 \cdot 10^{-3},$$

де $\varphi = 1$ – розрахунковий коефіцієнт міцності зварного шва для стикового з двобічним суцільним проваром, що виконується автоматичним або напівавтоматичним зварюванням за ДСТУ 4003-2000.

Оскільки швидкість корозії, м:

$$U_{\text{кор}} \geq 5 \cdot 10^{-5},$$

то додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії і ерозії, м:

$$C_1 = U_{\text{кор}} + \tau + C_e = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 25 + 0 = 1,25 \cdot 10^{-3},$$

де $C_e = 0$ м – додаток який враховувати при переміщенні в апараті рідких середовищ зі швидкостями більше 20 м/с, газоподібних – більше 100 м/с.

Виконавча товщина стінки еліптичного днища у першому наближенні, м:

$$S' = S_R + C_1 + C_0 = 13,6 \cdot 10^{-3} + 1,25 \cdot 10^{-3} + 2,05 \cdot 10^{-3} = 16,9 \cdot 10^{-3}$$

де $C_0 = 5 \cdot 10^{-5}$ м – додаток до найближчої товщини стандартного днища, що задовольняє технічні вимоги транспортування, монтажу та експлуатації [13].

Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску [13], м:

$$C_2 = 2 \cdot 10^{-3}$$

Технологічний додаток до розрахункової товщини [13], м:

$$C_3 = 0$$

Відношення суми додатків C_2 і C_3 до товщини S' :

$$\frac{C_2 + C_3}{S'} = \frac{2 \cdot 10^{-3} + 0}{2 \cdot 10^{-2}} = 0,1 > 0,05$$

Тоді сума додатків до розрахункової товщини :

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 1,25 \cdot 10^{-3} + 0,2 \cdot 10^{-3} + 0,55 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-3}$$

Виконавча товщина стінки еліптичного днища, м:

$$S_d = S_R + C + C_0 = 13,6 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3} + 1,3 \cdot 10^{-3} = 16,9 \cdot 10^{-3}$$

де $C_0 = 1,3 \cdot 10^{-3}$ м – додаток до найближчої товщини стандартного днища, що задовольняє технічні вимоги транспортування, монтажу та експлуатації [13].

Висота еліптичного днища, м:

$$h_d = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 4,05 = 1,0125$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул:

$$\frac{S_d + C}{D} = \frac{16,9 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}}{4,05} = 0,0037$$

$$0,002 < 0,0037 < 0,1,$$

$$\frac{h_d}{D} = \frac{1,0125}{4,05} = 0,25$$

$$0,2 < 0,25 < 0,5$$

Умова виконується.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск, МПа:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{R_e + 0,5 \cdot (S - C)} = \frac{2 \cdot 149 \cdot 1 \cdot (2 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 10^{-3})}{4,05 + 0,5 \cdot (2 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 10^{-3})} = 1,32$$

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Перевірка умов міцності:

$$[P_R] \leq [P],$$

$$1,0 \leq 1,32.$$

Умова виконується, міцності забезпечена.

Висновок: розраховано товщину еліптичного днища для забезпечення умов міцності. Обрано стандартне еліптичне днище з товщиною – 20 мм.

5.8 Розрахунок штуцерів

Мета: обрати стандартні штуцери для входу та виходу сировини за тиском та умовним діаметром.

Схема до розрахунку діаметра штуцерів представлена на рисунку 5.12.

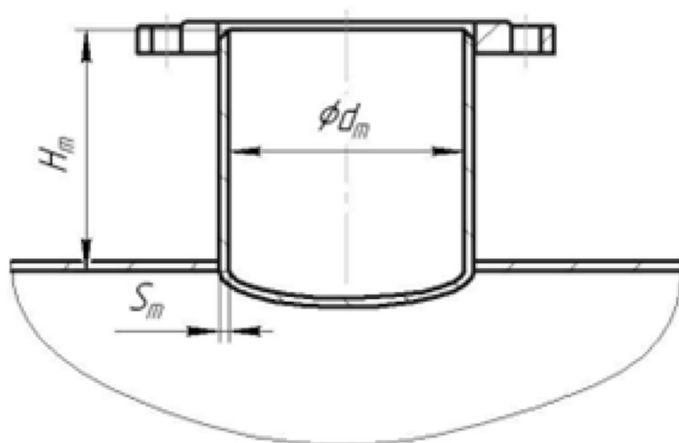


Рисунок 5.12 – Розрахункова схема штуцера

Вихідні дані для розрахунку:

Витрати суміші G_c , кг/с	10
Швидкість суміші ω_c , м/с	2
Середня густина суміші ρ_c , кг/м ³	758
Витрати рідини G_x , кг/с	1,67
Швидкість рідини ω_x , м/с	3,36
Середня густина рідини ρ_x , кг/м ³	868
Витрати пари G_y , кг/с	7,12

Швидкість пари ω_y , м/с

1,025

Середня густина пари

1,45

Розрахунок проводимо за [12].

Формула для визначення діаметрів штуцерів:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}}$$

Визначення діаметра штуцера для входу вихідної суміші:

Приймаємо $\omega_c = 2$ м/с.

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10}{\pi \cdot 758 \cdot 2}} = 0,091 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартний штуцер за [12]: $d_1 = 100$ мм.

Визначення діаметра штуцера для виходу парів дистилату:

Приймаємо $\omega_c = 35$ м/с.

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,12}{\pi \cdot 1,45 \cdot 35}} = 0,422 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартний штуцер за [12]: $d_2 = 400$ мм.

Визначення діаметра штуцера для подачі зрошення:

Приймаємо $\omega_x = 2$ м/с .

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 17,12}{\pi \cdot 761 \cdot 2}} = 0,119 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартний штуцер за [12]: $d_3 = 125$ мм.

Визначення діаметра штуцера для виходу кубової рідини:

Приймаємо $\omega = 0,5$ м/с .

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 17,12}{\pi \cdot 761 \cdot 0,5}} = 0,239 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартний штуцер за [12]: $d_4 = 250$ мм.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Визначення діаметра штуцера для повернення парів кубової рідини:

Приймаємо $\omega = 35$ м/с .

$$d_5 = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,12}{\pi \cdot 1,45 \cdot 35}} = 0,422 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартний штуцер за [12]: $d_5 = 400$ мм.

Результати розрахунків занесені до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунків штуцерів

Призначення штуцера	Діаметр D_N , мм
Вхід сировини	100
Вихід парів дистилляту	400
Подача зрошення	125
Вихід парів кубової рідини	250
Вихід продукту з куба	400

Висновок: за розрахунками було обрано штуцери, які забезпечать необхідні швидкості руху теплоносіїв. $d_1 = 100$; $d_2 = 400$; $d_3 = 125$; $d_4 = 250$; $d_5 = 400$.

5.9 Визначення вітрового навантаження на колонний апарат

Метою розрахунку є визначення вітрового навантаження, що діє на відпарну ректифікаційну колону в робочих умовах та перевірка умов міцності і стійкості апарата з урахуванням вітрового навантаження.

Розрахункова схема дії вітрового навантаження зображено на рисунку 5.13.

Вихідні дані до розрахунку:

Діаметр апарата D , м	4,05
Висота апарата H , м	7,2
Товщина стінки корпусу S , м	0,02

Додаток до розрахункової товщини С, м	0,002
Вага апарата G, кН	80565
Матеріал корпусу	Ст3
Розрахункова температура t _R , К	362
Район встановлення колони	м. Київ
Розрахунковий зовнішній тиск Р, МПа	1,0

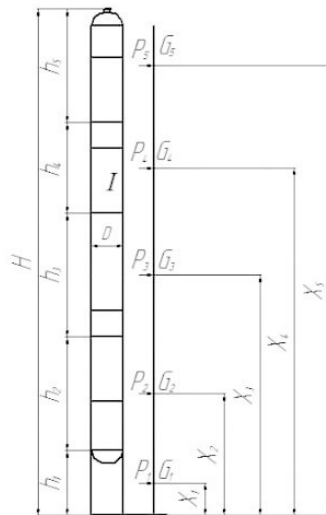


Рисунок 5.13 – Розрахункова схема дії вітрового навантаження

Розрахунок проводимо згідно з методикою [12].

Апарат розглядаємо у вигляді вертикального стрижня з пружним защемленням. Вітрове навантаження змінюється по висоті апарата, тому стрижень умовно ділимо на 5 частини з висотою $h_i = 1,44$ м кожна. Вага кожної з них:

$$G_i = G / 5 = 80565 / 5 = 16113 \text{ Н.}$$

Вважаємо, що центр ваги розташований посередині ділянки. Відстань x_i до центра ваги $x_1 = 0,72$ м, $x_2 = 2,16$ м, $x_3 = 3,6$ м, $x_4 = 5,04$ м, $x_5 = 6,48$.

Момент інерції перерізу фундаменту: $6,083 \text{ м}^3$,

де D_K - діаметр фундаментного кільця опори.

Момент інерції основного верхнього металічного перерізу колони:

$$I_1 = \frac{\pi}{64[(D_1 + 2S_1 - 2C)^4 - D^4]} = \frac{\pi}{64[(4,3 + 2 \cdot 0,02 - 2 \cdot 0,002)^4 - 4,05^4]} = 0,00058 \text{ м}^4$$

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

I – момент перерізу частин колони, які відрізняються діаметрами або товщинами стінок. В даному випадку $D = \text{const}$ і $S = \text{const}$.

Період основного тону власних коливань апарата постійного перерізу:

$$T = T_0 \sqrt{1 + \frac{4EI_1}{HC_F I_F}} = 0,286 \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 0,00058}{7,2 \cdot 0,8 \cdot 10^8 \cdot 6,083}} = 0,305 \text{ с},$$

де:

$$T_0 = 1,8H \sqrt{\frac{GH}{gEI_1}} = 1,8 \cdot 7,2 \sqrt{\frac{80565 \cdot 7,2}{9,81 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 0,00058}} = 0,286 \text{ с},$$

де C_F – коефіцієнт нерівномірності стиснення ґрунта, визначається по даним інженерної геології.

Так як $I = \text{const}$, $\Delta = \frac{1}{3}$, $\lambda=0$, $\mu=0$.

$$\gamma = \frac{2}{H^3} \left(H^3 \cdot \frac{1}{3} \right) = \frac{2}{7,2^3} \left(7,2^3 \cdot \frac{1}{3} \right) = 0,7$$

Коефіцієнт β_i для кожної ділянки визначається за залежністю:

$$\beta_5 = \left(\frac{x_5}{H} \right)^{\left(1,9 - 0,375 \frac{x_5}{H} \right)} = \left(\frac{6,3}{7,2} \right)^{\left(1,9 - 0,375 \frac{6,48}{7,2} \right)} = 0,81,$$

$$\beta_1 = 0,12; \beta_2 = 0,011; \beta_3 = 0,28; \beta_4 = 0,53.$$

Відносні переміщення центрів ваги ділянок:

$$\alpha_1 = \gamma \frac{H}{2EI} \beta_1 + \frac{x_5}{HC_F I_F} = 0,7 \frac{7,2}{2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 0,00058} 0,12 + \frac{6,48}{7,2 \cdot 0,8 \cdot 10^8 \cdot 6,083} = 4,33 \cdot 10^{-9},$$

$$\alpha_2 = 1,78 \cdot 10^{-9}; \alpha_3 = 8,35 \cdot 10^{-9}; \alpha_4 = 1,17 \cdot 10^{-9}; \alpha_5 = 1,82 \cdot 10^{-8}.$$

Коефіцієнт, який враховує зміну швидкісного напору вітру по висоті апарата:

$$\theta_1 = \left(\frac{x_1}{10} \right)^{0,32} = \left(\frac{0,72}{10} \right)^{0,32} = 0,431,$$

$$\theta_2 = 0,613; \theta_3 = 0,724; \theta_4 = 0,8; \theta_5 = 0,87.$$

Швидкісний напор вітру $q_0 = 450 \text{ Н/м}^2$.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Нормативне значення статичної складової вітрового навантаження на середину i -ї ділянки:

$$q_{ist1} = q_0 \cdot \theta_1 \cdot k = 450 \cdot 0,431 \cdot 0,7 = 135,765$$

де $k = 0,7$ – аеродинамічний коефіцієнт.

$$q_{ist2} = 191,89; q_{ist3} = 222,42; q_{ist4} = 253,535; q_{ist5} = 274,42.$$

Статична складова навантаження на i - й ділянці:

$$P_{1s} = q_{ist1} \cdot D_3 \cdot h = 135,765 \cdot 4,05 \cdot 1,44 = 791,78 \text{ Н},$$

де D_3 – зовнішній діаметр колони, h – висота ділянки.

$$P_{2st} = 1052,64 \text{ Н}; P_{3st} = 1258,45 \text{ Н}; P_{4st} = 1530,2 \text{ Н}; P_{5st} = 1890,33 \text{ Н}.$$

Коефіцієнт пульсації швидкісного напору для середини ділянки:

$$m_1 = 0,6 \left(\frac{x_1}{10} \right)^{-0,16} = 0,6 \left(\frac{0,72}{10} \right)^{-0,16} = 0,914,$$

$$m_2 = 0,767; m_3 = 0,706; m_4 = 0,668; m_5 = 0,643.$$

Приведене відносне прискорення центра ваги i -ї ділянки:

$$\eta_1 = \alpha_1 \frac{\alpha_1 \cdot m_1 \cdot P_{1st}}{\alpha_1^2 \cdot G_1} = 4,33 \cdot 10^{-9} \frac{4,33 \cdot 10^{-9} \cdot 0,914 \cdot 791,78}{(4,33 \cdot 10^{-9})^2 \cdot 16113} = 0,044,$$

$$\eta_2 = 0,054; \eta_3 = 0,059; \eta_4 = 0,062; \eta_5 = 0,066.$$

Безрозмірний параметр:

$$\varepsilon = \frac{T \cdot \sqrt{q_0}}{840} = \frac{0,305 \cdot \sqrt{450}}{840} = 0,0077.$$

Коефіцієнт, який встановлює кореляцію пульсації швидкості вітру $\nu = 0,7$.

Коефіцієнт динамічності:

$$\xi = 1,29 + 15,47 \cdot \varepsilon = 1,29 + 15,47 \cdot 0,0077 = 1,409.$$

Динамічна складова вітрового навантаження:

$$P_{1dyn} = \nu \xi \eta_1 G_1 = 0,7 \cdot 1,409 \cdot 0,044 \cdot 16113 = 699,3 \text{ Н},$$

$$P_{2dyn} = 895,3 \text{ Н}; P_{3dyn} = 913,4 \text{ Н}; P_{4dyn} = 974,6 \text{ Н}; P_{5dyn} = 1003,1 \text{ Н}.$$

Вітрове навантаження на i -й ділянці:

$$P_1 = P_{1st} + P_{1dy} = 791,78 + 699,3 = 1491,08 \text{ Н},$$

$$P_2 = 1933 \text{ Н}; P_3 = 2145 \text{ Н}; P_4 = 2337 \text{ Н}; P_5 = 2522 \text{ Н}.$$

Вигинаючий момент:

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

$$M_v = \sum_{i=1}^n P_i \cdot (x_i - x_0) = 1491,08(6,48 - 0,78) + 1933(5,04 - 0,78) + \\ + 2145(3,6 - 0,78) + 2337(2,16 - 0,78) + 2522(0,72 - 0,78) = 25856 \text{ Н}$$

Аналіз здатності корпусу тарілчастої ректифікаційної колони витримати дане навантаження проводимо шляхом перевірки міцності корпусу.

По вихідним даним приймаємо $[\sigma] = 149 \text{ МПа}$, $\varphi_T = \varphi_N = 0,9$

Розрахунок проводимо для перерізу III–III у місці з'єднання корпусу та обичайки. У розрахунковому перерізі діють навантаження: осьова стискаюча сила $F = 0,34 \text{ МН}$, дорівнює вазі колони. Вигинаючий момент від вітрового навантаження $M = 0,012495 \text{ МН}$, $P = 1,0 \text{ МПа}$.

Меридіальні напруження на повітряній стороні:

$$\sigma_{N1} = \frac{p(D + S)}{4(S - C)} + \frac{F}{\pi D(S - C)} + \frac{4M}{\pi D^2(S - C)} = \\ = \frac{1(4,05 + 0,02)}{4(0,02 - 0,002)} + \frac{0,34}{\pi \cdot 4,05(0,02 - 0,002)} + \frac{4 \cdot 0,025856}{\pi \cdot 4,05^2(0,02 - 0,002)} = \\ = 58,12 \text{ МПа.}$$

Напруження σ_{N2} на повітряній стороні:

$$\sigma_{N2} = \frac{p(D + S)}{4(S - C)} + \frac{F}{\pi D(S - C)} + \frac{4M}{\pi D^2(S - C)} = \\ = \frac{1(4,05 + 0,02)}{4(0,02 - 0,002)} + \frac{0,34}{\pi \cdot 4,05(0,02 - 0,002)} - \frac{4 \cdot 0,025856}{\pi \cdot 4,05^2(0,02 - 0,002)} = \\ = 58,12 \text{ МПа.}$$

Кільцьове напруження:

$$\sigma_t = \frac{p(D + S)}{4(S - C)} = \frac{1(4,05 + 0,02)}{4(0,02 - 0,002)} = 56,53 \text{ МПа.}$$

Еквівалентне напруження на повітряній стороні:

$$\sigma_{\text{екв1}} = \sqrt{\sigma_{N1}^2 - \sigma_{N1} \cdot \sigma_t \frac{\varphi_T}{\varphi_N} + \left(\sigma_t \frac{\varphi_T}{\varphi_N} \right)^2} =$$

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

$$= \sqrt{58,12^2 - 58,12 \cdot 56,53 \frac{0,9}{0,9} + \left(56,53 \frac{0,9}{0,9}\right)^2} = 57,34 \text{ МПа},$$

де $\varphi_{N1} = 0,9$ – коефіцієнт.

Еквівалентне напруження на повітряній стороні:

$$\sigma_{\text{екв2}} = \sqrt{\sigma_{N2}^2 - \sigma_{N2} \cdot \sigma_t \frac{\varphi_T}{\varphi_N} + \left(\sigma_t \frac{\varphi_T}{\varphi_N}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{58,12^2 - 58,12 \cdot 56,53 \frac{0,9}{0,9} + \left(56,53 \frac{0,9}{0,9}\right)^2} = 57,34 \text{ МПа},$$

Перевірка умов міцності , на повітряній стороні:

$$\sigma_{\text{екв1}} \leq 149,$$

$$57,34 \leq 149.$$

Умова міцності виконується.

З підвітряного боку:

$$\sigma_{\text{екв2}} \leq 149,$$

$$57,34 \leq 149.$$

Висновок: виконано розрахунок на вітрове навантаження, умова міцності виконується.

5.10 Вибір опори колонного апарата

Метою даного вибору опори є встановлення відпарного колонного апарата на фундамент, який здійснюємо за двома параметрами: діаметром і вагою апарата. Опора циліндрична, виконання В. Розрахунок проводимо для робочих умов. Зварний кільцевий шов знаходиться поза зони отвору. Район розташування відпарної ректифікаційної колони тарілчастого типу знаходиться в м. Київ.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.13.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

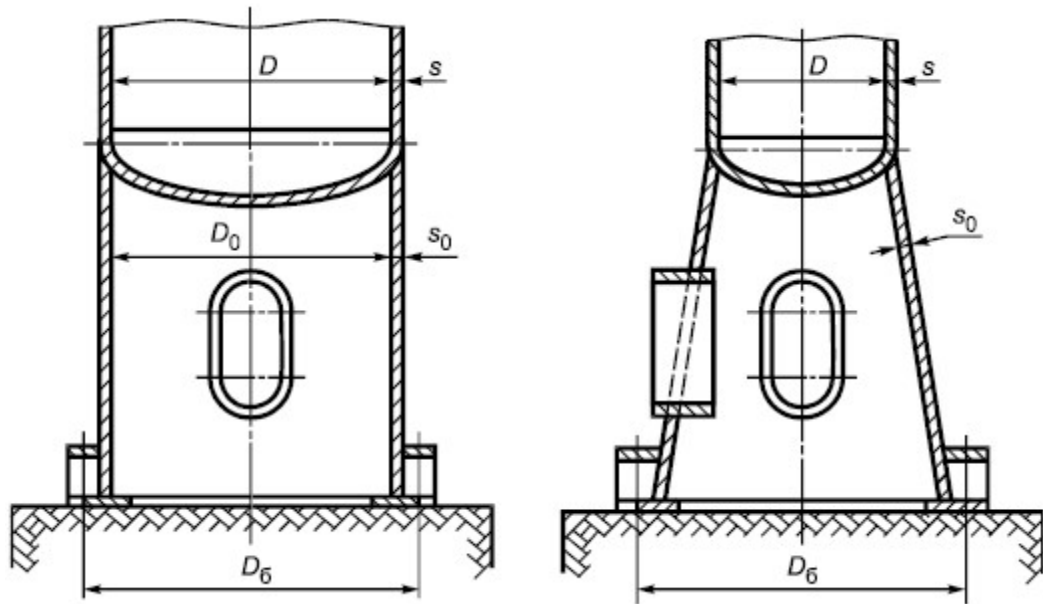


Рисунок 5.14 – Конструкція циліндричної та конічної опори для відпарної ректифікаційної колони

Вихідні дані:

діаметр апарата D , м	4,05
товщина циліндричної обичайки S , м	0,02
висота колони h_k , м	7,2
маса фланців і арматури $M_{фл}$, кг	400
густина матеріалу корпусу ρ , кг/м ³	7850
об'єм днища $V_{дн}$, м ³	4,3446
густина рідини при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ρ_v , кг/м ³	878

Розрахунок ведемо по методиці, приведений в [14].

Маса корпусу колони:

$$M_k = h_k \pi D S \rho = 7,2 \cdot 3,14 \cdot 4,05 \cdot 0,02 \cdot 7850 = 14375 \text{ кг}$$

Маса кришки та днища відпарної колони:

$$M_{кр} = M_{дн} = 260,8 \text{ кг}$$

Маса порожнього апарата:

$$M_{ап} = (M_k + 2 \cdot M_{кр} + M_{фл}) \cdot 1,3 = (14375 + 260,8 \cdot 2 + 400) \cdot 1,3 = 19884 \text{ кг.}$$

Навантаження порожнього апарата:

$$Q_{ан} = M_{ан} g = 19884 \cdot 9,81 = 195061 \text{ Н} = 0,195061 \text{ МН.}$$

Об'єм апарата:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h_k = \frac{\pi \cdot 4,05^2}{4} \cdot 7,2 = 92,71 \text{ м}^3.$$

Маса води в апараті:

$$M_B = V \cdot \rho_B = 92,71 \cdot 988 = 91598 \text{ кг.}$$

Навантаження апарата на опори під час гідравлічних випробувань:

$$Q_{an}^u = (M_{an} + M_B)g = (19884 + 91598) \cdot 9,81 = 1093638 \text{ Н} = 1,093 \text{ МН.}$$

Висновок: виходячи з того, що $Q_{\max} = Q_{an}^u = 1,093 \text{ МН}$,
 $Q_{\min} = Q_{an} = 1,093 \text{ МН}$ вибираємо циліндричну опору типу 3 згідно ОСТ 26-467-78
по $Q_{\min}$.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 Рекомендації з монтажу і експлуатації

Рекомендації були розроблені на основі вихідних матеріалів, згаданих в джерелі [15]. Цей розділ містить конкретні рекомендації, спрямовані на забезпечення ефективної експлуатації апарату та належних умов монтажу. Зокрема, вказується методика проведення монтажу, вимоги щодо розташування апарату та його окремих компонентів, умови випробувань та способи забезпечення правильної експлуатації апарату.

Проектування окремих елементів або повних резервуарів (у тому числі запасних та змінних частин) та інструкція щодо їх транспортування та монтажу здійснюються кваліфікованими конструкторами або організаціями, які мають відповідний дозвіл від Держнаглядохоронпраці України для виконання таких робіт. У разі необхідності внесення змін до проектів та нормативних документів, результати змін повинні бути узгоджені з організаціями, що розробляють проекти та нормативні документи.

Для забезпечення тривалої та безпечної експлуатації апарату протягом заданого періоду служби і з можливістю виявлення та попередження можливих поломок, необхідно спроектувати та виготовити конструкцію з урахуванням цих вимог. Максимально можливий розрахований строк служби апарату повинен бути вказаний у технічній документації виробу.

Для монтажу цього апарату рекомендується використовувати метод підйому, оскільки він має значні габарити та масу. Для підймання та переміщення апарата в процесі монтажу використовуються вантажопідйомні пристрої, які мають достатню вантажопідйомність для підймання спроектованого апарата. Вони оснащені ланцюгами або канатами, які забезпечують надійне утримання всього апарата. Ланцюги або канати, використовувані для підймання апарата, повинні мати достатню міцність, що перевищує напруження, що виникає від маси апарата.

Фундамент, на якому буде встановлений апарат, повинен мати масу, яка перевищує масу ректифікаційної колони у 1,5-2 рази. Основним матеріалом для

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фундаменту є бетон. Під час встановлення апарата проводять перевірку відхилень від горизонтальних і вертикальних міток, а також відхилень осей від осей, зазначених у проектній документації.

Після встановлення апарата головні осі не повинні відхилятися більше ніж на 20 мм. Габаритний розмір апарата по висоті може відрізнятись на не більш як 10 мм. За вертикальною осі апарат може відхилятися на 3 мм на кожен метр висоти, але не більш як на 35 мм на всю висоту апарата.

Під час монтажу окремих частин апарата особлива увага приділяється відхиленням у розташуванні фланцевих з'єднань. При монтажі комплектних деталей необхідно забезпечити взаємозв'язок всіх роз'ємних з'єднань. Також важливо забезпечити взаємозв'язок трубопроводів, які будуть використовуватись для підключення насосів та іншого обладнання.

Після завершення монтажних та збиральних робіт апарат піддається випробуванню. Перед випробуванням проводять підготовчі роботи та оглядають апарат і всі з'єднання. Особлива увага при огляді приділяється кришкам, приладам, арматурі, прокладкам, болтам, заглушкам та іншим деталям, які впливають на герметичність апарата.

Після зварювання всієї конструкції проводиться перевірка всіх розмірів зібраної колони, щоб переконатись, що вони відповідають встановленим допускам. Збирання тарілок починається з їх приварювання до стінки обичайки зсередини. Приварювання проводиться відповідно до технічних вимог та з урахуванням можливих дефектів швів, які можуть бути складні для виявлення при подальшому використанні колони.

Деталі тарілок, які розбираються, вносяться всередину колони через спеціальний люк. Вони збираються в певній послідовності відповідно до конструкції. Також слід звернути увагу на роз'ємні деталі, щоб запобігти їх саморозгвинчуванню.

Складність монтажних робіт колонних апаратів визначається їх спроектованими розмірами. Підйом апарату виконується за допомогою

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідних кранів різних конструкцій та спеціальних щогл для горизонтальної частини монтажних робіт. Використовуються основні принципи підймання, такі як ковзання та поворот. Під час підймання апарата з використанням ковзання та щоголів, які розташовуються на обох краях фундаменту, спеціальний кран попередньо підганяється до фундаменту.

Під час підймання апарата вгору, його нижня частина ковзає по підготовленій плиті та наближається до фундаменту. Для регулювання руху опорної частини апарата та запобігання ривкам та ударам по плиті, нижню частину колони підстраховують спеціальним тросом. Коли вісь колони наближається до вертикального положення, опору відокремлюють від землі. В кінці апарат закріплюють на фундаменті. Перед зняттям стропів перевіряється положення колони, а також перевіряється міцність затяжки фундаментних болтів.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 Рівень стандартизації та уніфікації

Використання стандартних і уніфікованих деталей у апаратах сприяє зниженню витрат, спрощує ремонт обладнання і скорочує час, необхідний для його обслуговування. Стандартні деталі є взаємозамінними і не вимагають спеціального обладнання для монтажу.

Рівень стандартизації і уніфікації визначається ступенем насиченості виробу стандартизованими і уніфікованими деталями та оцінюється за відповідними коефіцієнтами. Розрахунок ведеться за [16].

Коефіцієнт стандартизації:

$$K_c = \frac{n_c}{n_{\text{заг}}} = \frac{278}{347} = 0,8$$

де n_c – кількість стандартних деталей, $n_{\text{заг}}$ – загальна кількість деталей.

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності:

$$K_y = \frac{n_c + n_{\text{ун}}}{n_{\text{заг}}} = \frac{208 + 60}{226} = 0,97$$

де $n_{\text{ун}}$ – кількість уніфікованих деталей

Висновок: розраховано коефіцієнти стандартизації та уніфікації, які становлять: $K_c = 0,8$; $K_y = 0,97$.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8 Техніко-економічне обґрунтування модернізації

8.1 Техніко-економічне обґрунтування доцільності вдосконалення

Масообмінні апарати широко використовуються в промисловості. Обрана ректифікаційна колона призначена для розділення суміші метанолу та бензолу.

Ми запропонували покращення на основі відомої ректифікаційної колони, яка включає дві кришки, штуцери та масообмінні тарілки з закріпленими ковпачками. Вдосконалення спрямоване на підвищення ефективності розділення. Шляхом встановлення подвійних ковпачків, приводимо до рівномірного розподілу рідини по об'єму масообмінної тарілки, запобіганню утворення пристінного ефекту рідиною, та можливість регулювання поверхні контакту фаз, тобто ККД тарілки, без зменшення продуктивності колони. Крім того, ми встановили додаткові ковпачки меншого розміру між ковпачками більшого розміру, що також покращує ефективність розділення і потужність колони.

Алгоритм техніко-економічних показників базового та модернізованого апаратів можна знайти в джерелі [17].

8.2 Розрахунки витрат на проведення проектно-конструкторських робіт по вдосконаленню ректифікаційної колони

Наше вдосконалення апарата базується на складності та обсязі проектно-конструкторської документації, яку необхідно розробити на етапі конструкторської підготовки. Модернізація існуючого обладнання спрямована на запобігання або усунення фізичного зносу, техніко-економічного застаріння та підвищення технічних показників до сучасних вимог.

Економічно доцільно проводити модернізацію обладнання під час його капітального ремонту. Зазвичай вдосконалення устаткування в хімічній промисловості призводить до збільшення продуктивності на 10-18%, при цьому

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

витрати на модернізацію не перевищують половини вартості нового обладнання з аналогічним призначенням.

Розрахунки ефективності на проведення модернізації устаткування полягають у визначенні коефіцієнта ефективності витрат, який розраховується за формулою:

$$n_{pi} = 1 - \frac{M_i + S_{ei}}{K_{Hi} + \alpha\beta + S_{ai}},$$

де M_i – сукупні витрати на проведення модернізованого устаткування, грн;

S_{ei} – перевищення експлуатаційних витрат модернізованого устаткування порівняно з новим аналогічним устаткуванням, грн;

K_{Hi} – оптова ціна придбання нового аналогічного устаткування, грн.

α – коефіцієнт співвідношення продуктивності модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування;

β – коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування;

S_{ai} – втрати від недоамортизації устаткування, яке підлягає модернізації.

Величини сукупних витрат на модернізацію устаткування може бути розраховано по формулі:

$$M_i = \Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}} \cdot K_i = 800000 \cdot 0,06 = 48000 \text{ грн}$$

де $\Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}}$ – первісна (відновлена) вартість устаткування, яка підлягає модернізації, згідно даних підприємств, де експлуатується аналогічне обладнання, первісна вартість ректифікаційної колони.

K_i – коефіцієнт витрат, величина якого залежить від виду і типу устаткування, яка підлягає модернізації, в даному випадку $K_i = 0,06$ для теплообмінних апаратів.

Модернізоване устаткування у процесі подальшої експлуатації, як правило, вимагає більш високих експлуатаційних (поточних) витрат у порівнянні з аналогічним новим устаткуванням.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Експлуатаційні (поточні) витрати при роботі устаткування складаються з таких витрат:

- витрати паливно-мастильних матеріалів;
- витрати на придбання та виготовлення необхідних запасних частин;
- витрати на оплату праці ремонтного персоналу;
- інші поточні експлуатаційні витрати.

З достатнім для розрахунків ступенем точності, який базується на практичних даних підприємства хімічного машинобудування, величина перевищення експлуатаційних (поточних) витрат по модернізованому устаткуванню порівняно з новим аналогічним S_{ei} може бути розрахована по формулі:

$$S_{ei} = q_{bi} \cdot \Phi_{i_{перв}}^{MOD} - q_{bH} \cdot \Phi_{i_{перв}}^{HOV} = 0,12 \cdot 800000 - 0,1 \cdot 900000 = 6000 \text{ грн},$$

де q_{bi} – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат устаткування, яке підлягає модернізації, в даному випадку $q_{bi} = 0,12$ – для ректифікаційних колон;

$\Phi_{i_{перв}}^{HOV} = 900000$ грн – первісна вартість нового (аналогічного) устаткування.

q_{bH} – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат аналогічного нового устаткування, в даному випадку $q_{bH} = 0,1$ для ректифікаційних колон;

Коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового:

$$\beta = \frac{T_{MOD}}{T_{HOV}} = \frac{10250}{9700} = 1,057,$$

де T_{MOD} – тривалість ремонтного циклу устаткування, яке підлягає модернізації;

T_{HOV} – тривалість ремонтного циклу аналогічного нового устаткування.

Коефіцієнт співвідношення продуктивності вдосконаленого устаткування та аналогічного нового устаткування α розраховується по формулі [17]:

$$\alpha = \frac{\Pi_i}{\Pi_{HOV}} = \frac{10}{10,4} = 0,9,$$

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $P_i = 10 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ – продуктивність або інший один з найбільш важливих показників, який характеризує роботу устаткування, яке підлягає модернізації;

$P_{\text{нов}} = 1,611 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ – продуктивність або інший один з найбільш важливих показників, який характеризує роботу аналогічного нового устаткування.

Таблиця 8.1 – Значення коефіцієнту ефективності витрат n_{pi} на модернізацію устаткування.

Величина коефіцієнта n_{pi}	Висновок щодо доцільності модернізації устаткування
$n_{pi} > 0$	Модернізація устаткування з економічної точки зору доцільна
$n_{pi} < 0$	Модернізація устаткування з економічної точки зору недоцільна. Доцільним є придбання нового устаткування.
$n_{pi} = 0$	Рішення про модернізацію приймається, виходячи з конкретних виробничих обставин.

Коефіцієнт ефективності витрат:

$$n_{pi} = 1 - \frac{M_i + S_{ei}}{K_{Hi} + \alpha\beta + S_{ai}} = 1 - \frac{48000 + 6000}{900000 + 0,9 \cdot 1,057 + 0} = 0,94$$

де $S_{ai} = 0$ – витрати від не до амортизації устаткування, яка підлягає модернізації;

K_{Hi} – оптова ціна придбання нового аналогічного устаткування, грн;

Висновок: оскільки $n_{pi} = 0,94 > 0$, то модернізація устаткування з економічної точки зору доцільна.

Висновки

Дипломний проект з освітньо-кваліфікаційного рівня "Бакалавр" на тему "Модернізація ректифікаційної колони для розділення суміші метанол-бензол" пропонує модернізовану конструкцію ректифікаційної колони, яка дозволяє розділяти суміш більш ефективно.

Модернізація ректифікаційної колони полягає у встановленні подвійних ковпачків або використанні додаткових ковпачків меншого розміру між вже існуючими ковпачками більшого розміру. Ця конструкція забезпечує рівномірний розподіл рідини по об'єму масообмінної тарілки, запобігає утворенню пристінного ефекту рідини і дозволяє регулювати поверхню контакту фаз, зберігаючи продуктивність колони.

У результаті виконання дипломного проекту було зроблено опис технологічного процесу; обрано тип колони; обґрунтовано вибір конструкції апарата; порівняно основні показники розробленої конструкції з аналогами; проведено патентне дослідження; розроблено рекомендації з охорони праці.

Проведені розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій обраного апарата, а саме: гідравлічний опір, вітрове навантаження, тепловий розрахунок, визначення висоти колони, розрахунок діаметрів штуцерів, розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки, товщини еліптичного днища, розрахунок опори. Розроблено рекомендації щодо монтажу та експлуатації, визначено рівень стандартизації та уніфікації, здійснено техніко-економічне обґрунтування модернізації. Результати розрахунків зведені в розрахунково-пояснювальну записку.

Графічна частина проекту включає в себе технологічну схему установки – А1, складального креслення колони – А1, обичайки – А1, днища – А2, кришки – А2, технічна ідея модернізації – А3.

За період виконання проекту було опубліковано 2 всеукраїнські англomовні тези для науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Conclusion

The diploma project from the educational and qualification level "Bachelor" on the topic "Modernization of the distillation column for the separation of the methanol-benzene mixture" offers a modernized design of the distillation column, which allows more efficient separation of the mixture.

The main characteristics of the upgraded column are to install double caps or use additional smaller caps between the already existing larger caps. This design ensures a uniform distribution of liquid over the volume of the mass transfer liquid, prevents the formation of a wall effect of the liquid and allows you to adjust the surface of the contact phase while maintaining the performance of the column.

As a result of the diploma project, a description of the technological process was made; column type is selected; the choice of device design is justified; main indicators of the developed design with analogues; patent research was conducted; recommendations on labor protection have been developed. Calculations were carried out that confirm the operability and reliability of the design of the selected device, namely: hydraulic resistance, wind load, thermal calculation, determination of the height of the column, calculation of the diameters of the fittings, calculation of the thickness of the wall of a cylindrical regular, thickness of the elliptical bottom, calculation of the support. Recommendations for installation and operation have been developed, the level of standardization and unification has been determined, and indeed the technical and economic justification of modernization. The results of the calculations are summarized in the calculation and explanatory note.

The graphic part of the project includes the technological scheme of the installation – A1, the warehouse drawing of the column – A1, the customs – A1, the bottoms – A2, the covers – A2, technical idea of modernization – A3.

During the implementation of the project, 2 all – Ukrainian English-language theses were published for the scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists.

					<i>ЛН91.066231.001 ПЗ</i>	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. <https://studfile.net/preview/2066369/> від 15.05.2023.
2. Мікульонок, І. О. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології [Електронний ресурс] : підручник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямками підготовки «Інженерна механіка» та «Машинобудування» / І. О. Мікульонок. – Електронні текстові дані (1 файл: 18,97 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 247 с. – Назва з екрана.
3. ДСТУ 2651:2005. Сталь вуглецева звичайної якості.
4. ДСТУ 7809:2015. Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі.
5. Patent CN219002017U, МПК B01D3/16; B01D3/32; B01D3/42. A rectification tower. Zhang Zhongxin; Du Hongjun; Wang Xinke [CN] – Application: CN202223500778U – 2022-12-26. Publication: CN219002017 – 2023-05-12.
6. Patent CN116077972A, МПК B01D3/16; B01D3/24. A new type of spray multi-directional spiral tube tray. Sun Bingqian; Hou Huijing; Li Dong [CN] – Application: CN202310131957 – 2023-02-19. Publication: CN116077972 (A) – 2023-05-09.
7. Patent MX2021001450A, МПК B01D3/16; B01D3/20; B01D3/22. MULTI-PASS CONTACT TRAY FOR A MASS TRANSFER COLUMN COMPRISING FIXED AND MOVABLE VALVES AND METHOD INVOLVING SAME. GRIESEL CHARLES [US]; NIEUWOUDT IZAK – Application: MX20210001450 – 2019-08-06. Publication: MX2021001450 (A) – 2021-04-12.
8. Patent CN115779475A. МПК B01D3/14; B01D3/16; B01D3/32; C07C68/08; C07C69/96. Plug flow reactive distillation combined tower tray, reactive distillation tower comprising plug flow reactive distillation combined tower tray and method for producing dimethyl carbonate. LI JINMING; YANG PENGFEI; QIAO XIAOFEI; LI PAN; LIU JIAXU; FU CHUANLEI [CN] – Application: CN202211606438 – 2022-12-14. Publication: CN115779475 (A) – 2023-03-14.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Patent CN115768538A. МПК B01D3/16 (EP); B01J19/32 (EP); B01J2219/3221 (EP); B01J2219/32217 (EP); B01J2219/3222 (EP); B01J2219/32227 (EP); B01J2219/32237 (EP); B01J2219/32251 (EP); B01J2219/32268 (EP); B01J2219/32272 (EP); B01J2219/32408 (EP); B01J2219/32483 (EP). Structured packed bed for high pressure mass transfer and/or heat exchange applications. PILLIN MATHIEU; AUSNER ILJA [CN] – Application: CN20218047139 – 2021-06-28. Publication: CN115768538 (A) – 2023-03-07.

10. Охорона праці та цивільний захист: підручник для студентів, які навчаються за спеціальностями галузей знань «Автоматизація та приладобудування» / О. Г. Левченко, О. І. Полукаров, В. В. Зацарний, Ю. О. Полукаров, О. В. Землянська ; за ред. О. Г. Левченка.– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 420 с.

11. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химических технологий. Учебное пособие для вузов/Под П. Г. Романкова.– Л.: Химия, 1987. – 576 с., ил.

12. С.Т. Чечель. Расчет тепломассообменного оборудования: Учебник для техникумов. – Л.: Химия, 1985. – 317 с.

13. ГОСТ 14249 - 89: Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.

14. В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонюк . «Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої спроможності обичайок на дію опорних навантажень»: Навч. посібник /. – К.НМК ВО, 1995 – 182 с.

15. Мікульонюк І.О. Виготовлення монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв– Київ НТУУ «КПІ», 2012 – 442 с.

16. РД 50-33-80 Методичні вказівки. Визначення рівня уніфікації та стандартизації виробів.

17. Задольський А.М., Шаповаленко О.О. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів бакалаврів. Київ, 2010 – 15 с.

					ЛН91.066231.001 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

Документація до патентного дослідження

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН91.10РП

Найменування теми Ректифікаційна колона шифр теми ЛН91.066231.001

Етап Проектування ректифікаційної колони та її складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень

ЛН91.10, 24.04.2023

Обґрунтування регламенту пошуку:

Предмет пошуку – *1) ректифікаційна колона (Об'єктом пошуку є винаходи й корисні моделі).*

Мета пошуку інформації – *визначення патентної ситуації щодо масообмінних апаратів (визначення патентоздатності проєктованого апарата й визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці).*

Визначення держав пошуку. *Встановлюємо такі держави пошуку: Україна, США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія, Китай.*

Ретроспективність. *Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, проте регламент пошуку встановлюємо такий: 2022–2023 р.р.*

Класифікаційні індекси. *Міжнародна патентна класифікація: B01D 47/12, 47/14; 33/03, 53/18, 53/14, 47/06.*

Уніфікована десяткова класифікація УДК 66.045

Джерела інформації. 1) патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Китаю; 2) науково-технічна інформація: підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічного та нафтопереробного виробництва; 3) інтернет ресурси: <http://ep.espacenet.com/>.

Початок пошуку 17.04.2023

Закінчення пошуку 30.04.2023

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН91.10ДП

Завдання на проведення патентних досліджень ЛН91.000010.000 24.04.2023Етап Проектування апарата та його складових частинНомер, дата регламентного пошуку ЛН91.10.РП 24.04.2023Початок пошуку 17.05.2023 Закінчення пошуку 21.05.2023

Таблиця А.1 – Регламент пошуку (форма Б.1 згідно ДСТУ 3575-97)

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Ретро-спективність пошуку	Джерела інформації
Ректифікаційна колона	Визначення патентно-здатності проектова-ного апарата й тенденції розвитку цього напрямку в техніці	Україна, США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Японія, Канада, Швейцарія, Китай, Фінляндія.	МПК; B01D 47/12, 47/14; 33/03, 53/18, 53/14, 47/06, F01N 3/04, 13/00/ УДК 665.612.2	2022–2023	Національні і зарубіжні офіційні бюлетені. Описи винаходів і корисних моделей.

Таблиця А.2. – Джерела інформації, які використані під час патентного пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держав а пошуку	Класифі каційні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні данні першого та останнього джерела інформації	
				Патентна інформація	інша науково-технічна інформація
Ректифі каційна колона	Україна, США, Велика Британія , Китай	МПК; B01D 47/12, 47/14; 33/03, 53/18, 53/14, 47/06, F01N 3/04, 13/00/ УДК 665.61 2.2	http://ep.espacenet.com/ , http://www.uipv.org ,	Описи та винаходи патентів України Описи корисних моделей патентів України	Ректифікаційн а колона

Таблиця А.3 – Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
A rectification tower	Patent CN219002017U, МПК B01D3/16; B01D3/32; B01D3/42. A rectification tower. Zhang Zhongxin; Du Hongjun; Wang Xinke [CN] – Application: CN202223500778U – 2022-12-26. Publication: CN219002017 – 2023-05-12.	Діє
A new type of spray multi-directional spiral tube tray	Patent CN116077972A, МПК B01D3/16; B01D3/24. A new type of spray multi-directional spiral tube tray. Sun Bingqian; Hou Huijing; Li Dong [CN] – Application: CN202310131957 – 2023-02-19. Publication: CN116077972 (A) – 2023-05-09.	Діє
MULTI-PASS CONTACT TRAY FOR A MASS TRANSFER COLUMN COMPRISING FIXED AND MOVABLE VALVES AND	Patent MX2021001450A, МПК B01D3/16; B01D3/20; B01D3/22. MULTI-PASS CONTACT TRAY FOR A MASS TRANSFER COLUMN COMPRISING FIXED AND MOVABLE VALVES AND METHOD INVOLVING SAME. GRIESEL CHARLES [US]; NIEUWOUDT IZAK – Application: MX20210001450 – 2019-08-06. Publication: MX2021001450 (A) – 2021-04-12.	Діє

METHOD INVOLVING SAME		
Plug flow reactive distillation combined tower tray, reactive distillation tower comprising plug flow reactive distillation combined tower tray and method for producing dimethyl carbonate	Patent CN115779475A. MПК B01D3/14; B01D3/16; B01D3/32; C07C68/08; C07C69/96. Plug flow reactive distillation combined tower tray, reactive distillation tower comprising plug flow reactive distillation combined tower tray and method for producing dimethyl carbonate. LI JINMING; YANG PENGFEI; QIAO XIAOFEI; LI PAN; LIU JIAXU; FU CHUANLEI [CN] – Application: CN202211606438 – 2022-12-14. Publication: CN115779475 (A) – 2023-03-14.	Діє
Structured packed bed for high pressure mass transfer and/or heat exchange applications	Patent CN115768538A. MПК B01D3/16 (EP); B01J19/32 (EP); B01J2219/3221 (EP); B01J2219/32217 (EP); B01J2219/3222 (EP); B01J2219/32227 (EP); B01J2219/32237 (EP); B01J2219/32251 (EP); B01J2219/32268 (EP); B01J2219/32272 (EP); B01J2219/32408 (EP); B01J2219/32483 (EP). Structured packed bed for high pressure mass transfer and/or heat exchange applications. PILLIN MATHIEU; AUSNER ILJA [CN] – Application: CN20218047139 – 2021-06-28. Publication: CN115768538 (A) – 2023-03-07.	Діє

Таблиця А.4 – Інша науково технічна документація, відібрана для подальшого аналізу.

ОГД, його складові частини	Джерела інформації	Бібліографічні дані
Ректифікаційна колона	«Дистиляція: Принципи та практики» - автор: Йоганн Г. Штіхлмайр	Місце видання: Weinheim, Німеччина. Видавництво: Wiley-VCH.2014.
Ректифікаційна колона	"Контроль дистиляції для продуктивності та енергозбереження" - автор: Вільям Л. Луйбен.	Місце видання: Нью-Йорк, Нью-Йорк, США(2016). Видавництво: McGraw-Hill.
Ректифікаційна колона	Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології: Підручник / Я.М.Корнієнко	К.: НТУУ «КПІ», 2011.- Ч.2.-416с.

Висновок: За результатами проведеного патентного пошуку встановлено:

Пропонований апарат і його складові частини відповідають умовам патентної чистоти винаходу (корисної моделі) через те що усі суттєві ознаки найближчих аналогів не використано в проектних апаратах.

Додаток Б

Патенти, які використовувались в патентному дослідженні

(19) 国家知识产权局



(12) 实用新型专利



(10) 授权公告号 CN 219002017 U

(45) 授权公告日 2023.05.12

(21) 申请号 202223500778.8

(22) 申请日 2022.12.26

(73)专利权人 无锡市恒达水上装备有限公司
地址 214161 江苏省无锡市滨湖区胡埭镇
丁香东路8号

(72)发明人 张忠新 杜宏军 王新科

(74) 专利代理机构 无锡睿升知识产权代理事务所(普通合伙) 32376

专利代理师 袁诚

(51) Int.Cl.

B01D 3/16 (2006.01)

B01D 3/32 (2006.01)

B01D 3/42 (2006.01)

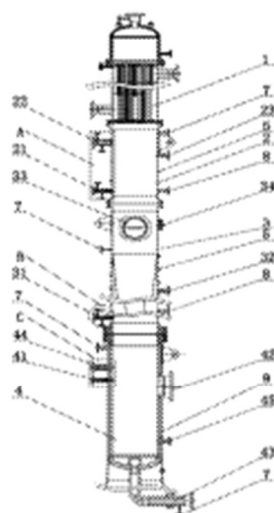
权利要求书1页 说明书3页 附图3页

(54) 实用新型名称

一种精馏塔

(57) 摘要

本实用新型涉及一种精馏塔,包括从上至下依次连接的再沸器、气相排放筒体、精馏筒体和液相排放筒体,气相排放筒体一侧连接气相出料口,精馏筒体靠下端位置一侧连接气相进料口,液相排放筒体外侧连接液相进料口和回流口,回流口与再沸器的管程进口连接,液相排放筒体下端连接产品排放管,气相排放筒体和所述精馏筒体外侧都绕有若干蒸汽加热管,蒸汽加热管两端连接蒸汽进口和冷凝水出口,液相排放筒体和所述产品排放管外侧连接蒸汽夹套,蒸汽夹套靠近液相排放筒体上端也连接蒸汽进口,蒸汽夹套位于产品排放管末端位置连接冷凝水出口,所述精馏塔可提高最终产品的浓度,且提供两种不同的温度控制,温度调节精确。





(21) 申请号 202310131957.9

(22) 申请日 2023.02.19

(71) 申请人 天津市职业大学

地址 300410 天津市北辰区洛河道2号

(72) 发明人 孙冰倩 侯惠静 李冬 郭湘立
井硕 冯艳文 卢鹏飞 赵文坤
张欣悦 许蓉 张磊

(51) Int. Cl.

B01D 3/16 (2006.01)

B01D 3/24 (2006.01)

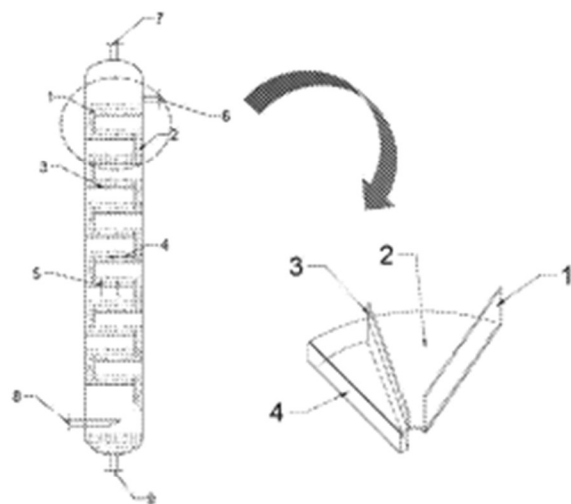
权利要求书1页 说明书3页 附图1页

(54) 发明名称

一种新型喷射多方向螺旋管式塔板

(57) 摘要

本发明公开了一种新型喷射多方向螺旋管式塔板,通过改变传统的塔盘整体型式及其气液流动状况,增加塔板的有效利用面积。本发明公开的一种新型喷射多方向螺旋管式塔板,由于考虑到了加强塔板上的传质传热,降低塔板的压力差,减少分离能耗,提高塔板的分离效率,通过多方向螺旋开孔设置螺旋气体喷射柱,使气相分布更为均匀,提高了气液传质效率。





(12)

SOLICITUD de PATENTE

(43) Fecha de publicación: 12/04/2021 (51) Int. Cl: **B01D 3/16** (2006.01)
(22) Fecha de presentación: 04/02/2021 **B01D 3/22** (2006.01)
(21) Número de solicitud: 2021001450 **B01D 3/20** (2006.01)

(86) Número de solicitud PCT: IB 2019/056664
(87) Número de publicación PCT: WO 2020/031077 (13/02/2020)

(30) Prioridad(es): 06/08/2018 US 62/714,960
(71) Solicitante:
KOCH-GLITSCH, LP
E. 37TH STREET N. 4111 67220 WICHITA KANSAS US
(72) Inventor(es):
Charles GRIESEL
C/O KOCH-GLITSCH, LP; E. 37TH STREET N. 4111
WICHITA KANSAS 67220 US
Izak NIEUWOUDT
(74) Representante:
DANIEL SANCHEZ Y BEJAR
PEDRO LUIS OGAZON 17 ALVARO OBREGON
CIUDAD DE MEXICO 01000 MX

(54) Título: **BANDEJA DE CONTACTO DE MULTIPLES PASES PARA UNA COLUMNA DE TRANSFERENCIA DE MASA QUE COMPRENDE VALVULAS FIJAS Y MOVILES Y METODO QUE INVOLUCRA LA MISMA.**

(54) Title: **MULTI-PASS CONTACT TRAY FOR A MASS TRANSFER COLUMN COMPRISING FIXED AND MOVABLE VALVES AND METHOD INVOLVING SAME.**

(57) Resumen

Una bandeja de contacto de múltiples pases para usarse en una columna de transferencia de masa que tiene una mezcla de válvulas fijas a válvulas móviles, con los números de las válvulas respectivas siendo seleccionados para equilibrar el flujo volumétrico de vapor a través de segmentos de cubierta cuando el vapor está ascendiendo a velocidades de flujo volumétricas insuficientes para mantener las válvulas móviles en una posición abierta.

(57) Abstract

A multi-pass contact tray for use in a mass transfer column has a mixture of fixed valves to moveable valves, with the numbers of the respective valves being selected to balance the volumetric flow of vapor through deck segments when the vapor is ascending at volumetric flow rates insufficient to maintain the moveable valves in an open position.



(21) 申请号 202211606438.5

C07C 68/08 (2006.01)

(22) 申请日 2022.12.14

(71) 申请人 万华化学集团股份有限公司

地址 264006 山东省烟台市经济技术开发区
重庆大街59号

(72) 发明人 李金明 杨鹏飞 乔小飞 李盼
刘佳旭 伏传磊

(74) 专利代理机构 北京品源专利代理有限公司
11332

专利代理师 陈小龙

(51) Int. Cl.

B01D 3/16 (2006.01)

B01D 3/32 (2006.01)

B01D 3/14 (2006.01)

C07C 69/96 (2006.01)

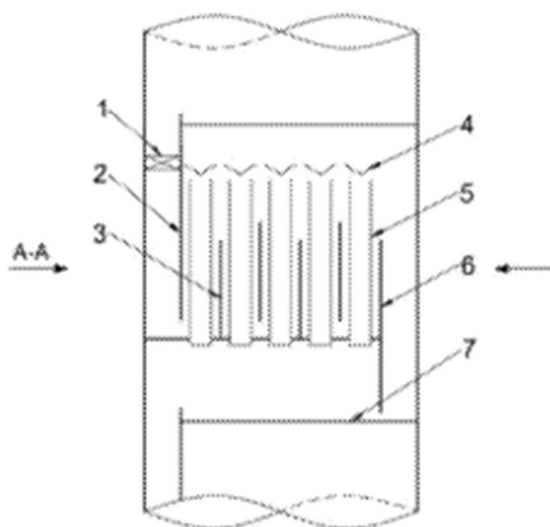
权利要求书2页 说明书12页 附图2页

(54) 发明名称

一种平推流反应精馏组合塔盘、包含其的反应精馏塔和生产碳酸二甲酯的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种平推流反应精馏组合塔盘、包含其的反应精馏塔和生产碳酸二甲酯的方法，所述平推流反应精馏组合塔盘包括平推流反应塔盘和设置于所述平推流反应塔盘下方的精馏塔盘；所述平推流反应塔盘的降液管和出口堰之间设置有至少两个中间堰；所述平推流反应塔盘上设置有气孔；所述气孔向上连接有升气管；所述生产碳酸二甲酯的方法在包含上述平推流反应精馏组合塔盘的反应精馏塔中进行。本发明提供平推流反应精馏组合塔盘具有低压降、高效率的优点，可以降低反应精馏塔的全塔高度，节约固定投资成本，所述生产碳酸二甲酯的方法不仅共沸剂用量低，能耗低，而且反应的转化率和选择性大大提高。





(10) 申请公布号 CN 115768538 A

(43) 申请公布日 2023.03.07

(21) 申请号 202180047139.X

(22) 申请日 2021.06.28

(30) 优先权数据

20185091.4 2020.07.09 EP

63/205629 2020.07.02 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.12.30

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2021/067712 2021.06.28

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/002858 EN 2022.01.06

(71) 申请人 苏尔寿管理有限公司

地址 瑞士温特图尔

(72) 发明人 M·皮林 I·奥斯纳

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

专利代理师 邹龙辉 郭帆扬

(51) Int.Cl.

B01D 3/16 (2006.01)

权利要求书2页 说明书10页 附图4页

(54) 发明名称

用于高压质量传递和/或热交换应用的结构化填料床

(57) 摘要

本发明涉及一种用于在第一和第二流体相之间进行质量传递和/或热交换的塔的结构化填料床,其中用于质量传递和/或热交换的塔被设计用于在至少6巴的压力下操作,其中结构化填料床包括至少两层,其中所述至少两层竖直地彼此堆叠,并且其中所述至少两层中的至少两层各自包含至少一个结构化交叉通道填料元件,所述结构化交叉通道填料元件具有60至500m²/m³的比表面积以及50至小于150mm的高度,其中所有结构化交叉通道填料元件的至少50%是块体,其中每个块体包括具有周期性变形部的多个片材,其中所述片材在纵向方向上彼此平行且接触地布置,使得在它们之间提供从所述片材的一端延伸到相对端的开放空间,其中所述开放空间由所述周期性变形部限定,其中相邻片材被取向成使得相邻片材的周期性变形部以十字交叉的方式彼此相交,并且其中层结构化交叉通道填料元

件中的至少一者相对于相邻层的结构化交叉通道填料元件中的至少一者旋转70至110°。

Додаток В

Програма розрахунку товщини стінки обичайки колони

На рисунку В.1 зображено блок-схему до розрахунку.

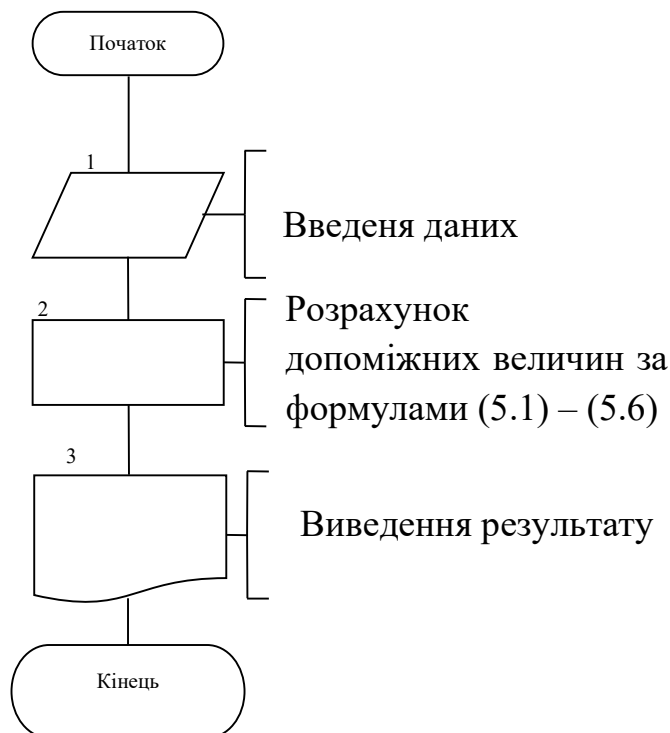


Рисунок В.1 – Алгоритмічна схема комп’ютерного розрахунку товщини стінки циліндричної обичайки колони

Таблиця В.1 – Перелік ідентифікаторів

Найменування величини	Позначення	Ідентифікатор	Розмірність
Допустиме напруження матеріалу	$[\sigma]$	$[\sigma]$	МПа
Внутрішній діаметр обичайки	D	D	м
Розрахунковий тиск	P	P	МПа
Коефіцієнт міцності зварного шва	φ	φ	
Розрахункова товщина стінки	S_R	S_R	м
Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії	C_1	C_1	м
Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску	C_2	C_2	м

Продовження таблиці В.1

Технологічний додаток до розрахункової товщини	C_3	C_3	М
Сума додатків до розрахункової товщини	C	C	м
Додаток до найближчої товщини	C_0	C_0	м
Виконавча товщина стінки	S	S	м
Допустимий внутрішній надлишковий тиск	p'	$[P]$	МПа
Найменування величини	Позначення	Ідентифікатор	Розмірність
Допустиме напруження матеріалу	$[\sigma]$	$[\sigma]$	МПа
Внутрішній діаметр обичайки	D	D	м
Розрахунковий тиск	P	P	МПа
Коефіцієнт міцності зварного шва	φ	φ	
Розрахункова товщина стінки	S_R	S_R	м
Додаток до розрахункової товщини для компенсації корозії	C_1	C_1	м
Додаток до розрахункової товщини на компенсацію мінусового допуску	C_2	C_2	м

Програма розрахунку:

$$D := 2$$

$$Pr := 1$$

$$\varphi := 1$$

$$\sigma := 149$$

$$Sr := \frac{Pr \cdot D}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi - Pr} = 6.734 \times 10^{-3}$$

$$C := 0.002$$

$$C0 := 0.0013$$

$$S := Sr + C + C0 = 0.01$$

$$\frac{S - C}{D} = 4.017 \times 10^{-3}$$

$$4.017 < 0.1$$

$$P := \frac{2 \cdot \sigma \cdot \varphi \cdot (S - C)}{(D + S - C)} = 1.192$$

$$1 < 1.192$$

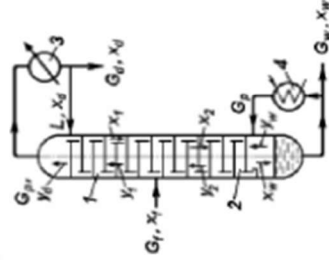
Додаток Г
Публікації автора

Тези:

1) Podyman Hryhorii, Roman Rybitva (2022). Modernization of the rectification column for separation of the mixture: methanol-benzene. Збірник тез доповідей XXXI всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів". К.: 05-07.12.2022. – С. 56-58.

2) Podyman Hryhorii, Roman Rybitva, (2023). Modernization of the methanol-benzene mixture separation unit with the development of a rectification column. Збірник тез доповідей XXXII всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів". К.: 03.05.2023. – С. 14-17.

The starting mixture heated to the feed temperature in the vapor, vapor-liquid, or liquid phase enters the column as feed. The zone to which power is supplied is called the evaporative zone because evaporation occurs - a one-time separation of steam from the liquid. The vapors rise to the top of the column, are cooled and condensed in the condenser cooler, and fed back to the top plate of the column as irrigation.



1 - the upper (concentration) part of the column; 2 - the lower (retract) part of the column; 3 - condenser-dephlegmator; 4- boiler-evaporator

Figure 1 - The schematic of the work of a rectification column for separation binary mixture

Thus, in the upper part of the column, vapor moves countercurrent and liquid flows. Flowing down the plates, the liquid is enriched with high-boiling substances components, and the vapors that rise to the top of the column are enriched with low-boiling components.

Thus, the product removed from the top of the column is enriched with a low-boiling component. The product removed from the top of the column is called the distillate. Part of the distillate condensed in the refrigerator and returned to the column is called irrigation or phlegm. The ratio of the amount returned to the phlegm column and the amount of distillate removed is called the phlegm number.

UDC 663.5

MODERNIZATION OF THE RECTIFICATION COLUMN FOR SEPARATION OF THE MIXTURE: METHANOL-BENZENE

Assistant Podyman Hryhorii, Student Roman Rybitva

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ANNOTATION: This provides an overview of the work and the differences between different distillation columns. Examples of constructions are given, and advantages and disadvantages are described.

KEY WORDS: RECTIFICATION, RECTIFICATION COLUMN, TYPES, COMPARISON.

МОДЕРНІЗАЦІЯ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ СУМІШІ: МЕТАНОЛ-БЕНЗОЛ

асистент Подиман Г. С., студент Рибитва Р. В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНОТАЦІЯ: В даній роботі наведено огляд роботи та основні відмінності різних типів ректифікаційних колон. Наведено приклади конструкцій, описано переваги та недоліки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РЕКТИФІКАЦІЯ, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, ВИДИ, ПОРІВНЯННЯ.

Rectification is a physical process of separating liquid mixtures into pure components or fractions that differ in boiling point, separating binary or multicomponent mixtures due to countercurrent mass and heat exchange between steam and liquid (Figure 1).

UDC 663.5

MODERNIZATION OF THE METHANOL-BENZENE MIXTURE SEPARATION UNIT WITH THE DEVELOPMENT OF A

RECTIFICATION COLUMN

assistant Podyma Hryhorii, student Roman Rybitva

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ABSTRACT : *This work presents a study of the technical and technological improvement of the efficiency of the distillation column. The directions of modernization of the rectification column are substantiated.*

KEYWORDS : RECTIFICATION, RECTIFICATION COLUMN, TYPES, COMPARISON.

МОДЕРНІЗАЦІЯ БЛОКУ РОЗДІЛЕННЯ СУМІШІ МЕТАНОЛ-БЕНЗОЛ З РОЗРОБКОЮ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ

асист. Подиман Г. С., студент Рибитва Р. В.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

АНОТАЦІЯ: *В даній роботі наведено дослідження технічного та технологічного покращення працездатності ректифікаційної колони. Обґрунтовано напрями модернізації ректифікаційної колони.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РЕКТИФІКАЦІЯ, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, ВИДИ, ПОРІВНЯННЯ.

Analyzing the list of patents for the last 5 years, the most common drawback of the rectification column is an insufficiently effective design solution for the distribution of the liquid, and sometimes gas phase, which reduces the intensification of the process [1-5].

To create an upward flow of vapors in the cubic part of the rectification column, part of the cubic liquid is sent to the heat exchanger, and the vapors formed are fed back under the lower plate of the column.

Thus, two flows are created in the cube of the column: the first flow is liquid flowing from the top, and the second flow is vapor rising from the bottom of the column.

The cubic liquid, flowing down the plates, is enriched with a high-boiling component, and the vapors are enriched with a low-boiling component.

The advantage is that the plate-type rectification column separates the fractions more finely than, for example, the packing column, which has high resistance and difficulty in the correct distribution of vapors and phlegm. Disadvantages include high cost and large dimensions.

Modern rectification devices must have a high distribution capacity and productivity, be characterized by sufficient reliability and flexibility in operation, ensure low operating costs, have a small mass, and, finally, be structurally simple and technological in production.

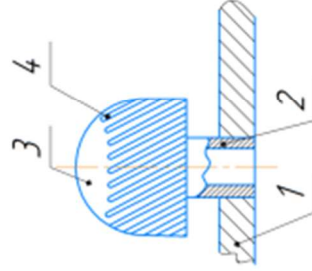
References:

1. Aleksandrov I. A. Rectification and absorption devices _ Methods calculation and basis design .- М . : Chemistry , 2002
2. Vragov A.P. Mass transfer processes and equipment of chemical and gas -oil processing industries: training . help _ / Andrii Petrovych Vragov . — Sumy: University Book, 2007. — 284 p
3. Rectification column : principle of operation and methods use _ [Electronic resource] . - Access mode: <https://autoclav.com.ua/ua/blog/rektifikacionnaya-kolonna-rabota/> for 05.10. 2022

and smaller rib. The inner pipe is collapsible and consists of separate pipes connected by a flange connection. The base of the plate is fixed to the support frame through a gasket with a bolted connection. Fittings for the entry of the initial mixture and phlegm are inserted into the column body, and then into the opening of the outer pipe and the slot of the inner pipe. Thanks to the place, the inner tube does not scroll. The inner pipe is attached to a lifting mechanism, attached to a beam attached to the hull and is actuated by a valve.

This solution allows you to increase the efficiency of the plate, which will increase its efficiency, as well as to make changes in the operation of the column right during the process, knowing in advance how much you need to turn the valve, to set the required liquid level to a clearly defined height through the binding of height measurement units pipe and valve rotation, which facilitates the process of controlling the rectification column.

However, some more universal solution is needed, which will provide high efficiency and help to intensify the mass exchange. Such a solution can change the structure and appearance of the contact caps (Fig. 1).



1 – plate body; 2 – nozzle with a cap; 3 – cap; 4 – slot in the cap

Figure 1 – Structural cap of the distillation column

Useful models are based on the task of increasing the intensification of the mass transfer process by installing double caps or by installing additional smaller caps between larger caps in the rectification column.

The rectification column contains mass exchange plates. The mass transfer plate has larger nozzles with larger caps interspersed with additional smaller caps that are attached to the smaller nozzles. The improved cap plate works as follows: when supplying steam to the column, the steam passes through the nozzles and, accordingly, continues to fall under the caps of a larger size and the caps of a smaller size.

Solving this problem leads to uniform distribution of the liquid over the volume of the mass exchange plate, prevention of the formation of a wall effect by the liquid, and the possibility of adjusting the contact surface of the phases, i.e. the efficiency of the plate, without reducing the productivity of the column.

An equally common problem is that overflow devices installed in a distillation column waste a lot of space. This space could be filled with additional contact devices or by increasing the cross-section of the pipe, the flow of the mixture could be accelerated.

As a result, an overflow device is used in the rectification column, which is located in the center, in the form of outer and inner central pipes, located concentrically. Holes are made in the outer and inner central tubes, which are centered in vertical planes, which pass through the axis of the apparatus and are separated by guide ribs, one of which is extended to the body and connected to it by a gasket, which are welded to the outer tube, which is welded to the base of the plate. The gap between the pipes is provided by gaskets that fit into the ring groove of the outer pipe. To separate the liquid that fills the plate from the liquid that drains from it, bottoms with rounded walls with holes are welded in the inner pipe, and a gasket is placed between the gaskets in the groove between the annular grooves. The drain hole is located between the gaskets and the respective larger

Slots are located at an angle to the vertical plane, which increases the contact area of the phases. The proposed modernization allows to increase the efficiency of the plate, correspondingly lowering the total height of the column.

References:

1. Rectification column// Patent UA 127769U. 2018// Kychak R.V.
2. Rectification column// Patent UA 124245U. 2018// Tkachuk M.V. ,
Stapanyuk A.R.
3. Rectification column// Patent UA 142419U. 2020// Khomenko M.V. ,
Polyakova V.I., Bobrovitskiy D.D., Stepaniuk A.R.
4. Rectification column// Patent UA 136396U. 2019// I. L. Voloshyn , A.
R. Stepaniuk.
5. Rectification column// Patent UA 128466U .2017 // Fedorenko K.V.